世界知的所有権機関
国際事務局

PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類6 H02N 2/00	A1	(11) 国際公開番号	WO00/38309
		(43) 国際公開日	2000年6月29日(29.06.00)

(21) 国際出願番号 PCT/JP99/04877

(22) 国際出願日 1999年9月8日(08.09.99)

(30) 優先権データ

特願平10/363543	1998年12月21日(21.12.98)	JP
特願平10/363546	1998年12月21日(21.12.98)	JP
特願平10/363550	1998年12月21日(21.12.98)	JP
特願平11/69158	1999年3月15日(15.03.99)	JP
特願平11/250225	1999年9月3日(03.09.99)	JP

(71) 出願人（米国を除くすべての指定国について）
セイコーエプソン株式会社
(SEIKO EPSON CORPORATION)[JP/JP]
〒163-0811 東京都新宿区西新宿二丁目4番1号 Tokyo, (JP)
(72) 発明者；および
(75) 発明者／出願人（米国についてのみ）
宮澤 修(MIYAZAWA, Osamu)[JP/JP]
橋本泰治(HASHIMOTO, Yasuharu)[JP/JP]
舩坂 司(FUNASAKA, Tsukasa)[JP/JP]
古畑 誠(FURUHATA, Makoto)[JP/JP]
〒392-8502 長野県諏訪市大和三丁目3番5号
セイコーエプソン株式会社内 Nagano, (JP)

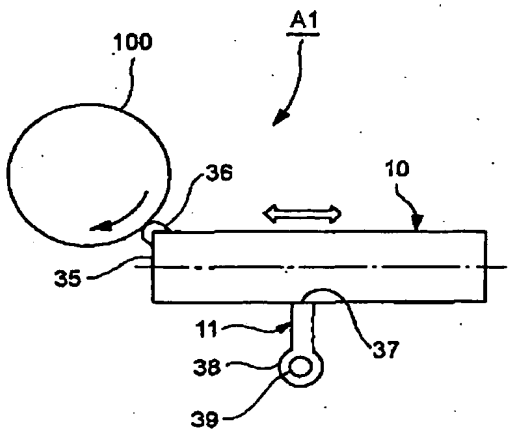
(74) 代理人
川崎研二(KAWASAKI, Kenji)
〒103-0027 東京都中央区日本橋三丁目2番16号
八重洲マスヤビル5階 朝日特許事務所 Tokyo, (JP)

(81) 指定国 CN, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)

添付公開書類
国際調査報告書

(54)Title: PIEZOELECTRIC ACTUATOR, TIME PIECE, AND PORTABLE DEVICE

(54)発明の名称 圧電アクチュエータ、時計および携帯機器



(57) Abstract

A vibration board (10) composed of a rectangular laminate of a piezoelectric element and a reinforcement member is supported on a base by means of a support (11). The support (11) elastically urges the vibration board toward a rotor (100) so that a projection (36) provided on the vibration board (10) may come into contact with the periphery of the rotor (100). When the vibration board (10) is vibrated to the right and left by the application of voltage from a driver circuit (not shown), the rotor (100) rotates clockwise with the displacement of the projection (36).

THIS PAGE BLANK (USPTO

(57)要約

圧電素子と補強板とが積層された長方形板状の振動板１０は、支持部材１１によって地板に支持されるとともに、支持部材１１の弾性力によってローター１００側に付勢されている。これにより、振動板１０に設けられた突起部３６がローター１００の外周面に当接させられている。この構成の下、図示せぬ駆動回路からの印加電圧によって、図中左右方向に振動板１０が振動すると、この振動による突起部３６の変位に伴ってローター１００が時計回りに回転させられる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AL	アルバニア	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボズニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	MA	モロッコ	TD	チャード
BF	ブルギナ・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴー
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BY	ベラルーシ	GW	ギニア・ビサオ	ML	マリ	TT	トリニダッド・トバゴ
CA	カナダ	HR	クロアチア	MN	モンゴル	TZ	タンザニア
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	MR	モーリタニア	UA	ウクライナ
CG	コンゴー	ID	インドネシア	MW	マラウイ	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MX	メキシコ	US	米国
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MZ	モザンビーク	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CN	中国	IS	アイスランド	NL	オランダ	YU	ユーゴースラヴィア
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NO	ノールウェー	ZA	南アフリカ共和国
CU	キューバ	JP	日本	NZ	ニュー・ジーランド	ZW	ジンバブエ
CY	キプロス	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CZ	チェッコ	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
DK	デンマーク	KR	韓国				

THIS PAGE BLANK (USPTO)

明 細 書

圧電アクチュエータ、時計および携帯機器

技術分野

本発明は、圧電アクチュエータ、ならびにこの圧電アクチュエータを備える時計および携帯機器に関する。

技術背景

圧電素子は、電気エネルギーから機械エネルギーへの変換効率や、応答性に優れていることから、近年、圧電素子の圧電効果を利用した各種の圧電アクチュエータが開発されている。この圧電アクチュエータは、圧電ブザー、プリンタのインクジェットヘッド、あるいは超音波モータなどの分野に応用されている。

図６１は、従来の圧電アクチュエータを用いた超音波モータを模式的に示す平面図である。同図に示すように、この種の超音波モータは、つっつき型と呼ばれるものであって、圧電素子に結合した振動片の先端に、ロータ面を少し傾斜させて接触させてある。このような構成の下、発振部からの交流電圧によって圧電素子が伸縮し、振動片が長さ方向に往復運動すると、ロータの円周方向に分力が発生してロータが回転するようになっている。

また、２個の超音波振動子（圧電素子）を備え、各超音波振動子をそれ自身の電気的な共振周波数で振動させ、この振動により振動片を変位させる技術が知られている（特開平１０－２２５１５１号公報）。

しかしながら、圧電素子の変位は印加電圧にもよるが微小であり、サブミクロン程度であるのが通常であり、上述した共振周波数で振動させる場合でも同様である。このため、なんらかの増幅機構によって変位を増幅してロータに伝達することが行われている。しかし、増幅機構を用いた場合、それ自身を動かすためにエネルギーが消費され、効率が低下するといった問題があるとともに、装置のサ

THIS PAGE BLANK (USPTO

イズが大きくなってしまうといった問題もある。また、増幅機構を介する場合、安定したロータへの駆動力の伝達が困難となることもある。

また、腕時計のような小型の携帯機器は電池で駆動されるため、消費電力や駆動電圧を低く抑える必要がある。したがって、そのような携帯機器に圧電アクチュエータを組み込む場合には、特に、そのエネルギー効率が高く、駆動電圧が低いことが要求される。

ところで、時計などにおいて、日や曜などを表示するカレンダー表示機構では、電磁式のステップモータの回転駆動力を運針用の輪列を介して日車などにも間欠的に伝達し、日車を送り駆動するのが一般的である。一方、腕時計は手首にベルトを巻き付けて携帯するものであるから、携帯に便利なように薄型化の要求が古くからある。薄型化を追求するには、カレンダー表示機構の厚さを薄くすることも必要となる。しかし、ステップモータはコイルやロータといった部品を面外方向に組み込んで構成されるので、その厚さを薄くするには限界がある。このため、ステップモータを用いた従来のカレンダー機構は、構造的に薄型化には向かないという問題があった。

特に、カレンダー表示機構のある時計と、係る機構のない時計との間で運針の機械系（いわゆるムーブメント）を共通化するためには、カレンダー表示機構を文字板側に構成する必要があるが、電磁式のステップモータでは文字板側に構成できる程の薄型化が困難である。したがって、従来の時計は、表示機構の有無によって運針の機械系を別々に設計して製造する必要があり、その生産性を向上させる際の問題となっていた。

本発明は、上記の事情を考慮してなされたものであり、導通構成を簡易化することにより、小型化を容易にした圧電アクチュエータ、およびこれを備える時計、携帯機器を提供することを目的とする。また、圧電素子の振動を効率よく伝達するとともに、小型・薄型化に適しており、かつ駆動力を安定して伝達できる圧電アクチュエータ、ならびにこれを備えた時計および携帯機器を提供することを目的とする。

発明の開示

THIS PAGE BLANK (USPTO)

本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向に駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向に駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の前記表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付

THIS PAGE BLANK (USPTO)

けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の前記外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持されるとともに、その回転軸が移動可能になされた回転体と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記回転体の外周面が前記振動板の長手方向の端部と当接するように前記回転体に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に

THIS PAGE BLANK (USPTO)

振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材とを具備しており、前記回転体は、その外周面を前記振動板の長手方向の端部に当接する位置に配置され、その弾性力をもって前記外周面を前記振動板の前記端部に押圧する弾性体から形成されており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向に駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を前記縦振動時と逆方向に駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に

THIS PAGE BLANK (USPTO)

取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向に駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を前記縦振動時と逆方向に駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面外の方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面外の方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記

THIS PAGE BLANK (USPTO)

振動板の長手方向の端部が前記回転体の表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択さ

THIS PAGE BLANK (USPTO)

れた場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持されるとともに、その回転軸が移動可能になされた回転体と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記回転体の外周面が前記振動板の長手方向の端部に当接するように前記回転体に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材とを具備しており、前記回転体は、その外周面を前記振動板の長手方向の端部に当接する位置に配置され、その弾性力をもって前記外周面を前記振動板の前記端部に押圧する弾性体から形成されており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、

THIS PAGE BLANK (USPTO)

前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の観点から本発明に係る圧電アクチュエータは、圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、前記圧電素子の上下に積層され、導体から形成される補強部を備え、前記補強部を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴としている。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、支持体と、導電体から形成され、前記圧電素子を前記支持体に支持する支持部材とを備え、前記支持部材を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴としている。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、前記圧電素子の上下面にそれぞれ接触して前記圧電素子を挟み込む弾性導電体を備え、前記弾性導電体を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴としている。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、前記圧電素子の周囲に接触しながら巻き付けられる導線を備え、前記導線を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴としている。

また、本発明に係る時計は、上記いずれかの態様の圧電アクチュエータと、前記圧電アクチュエータによって回転駆動されるリング状のカレンダー表示車とを具備することを特徴としている。

また、本発明に係る携帯機器は、上記いずれかの態様の圧電アクチュエータと、前記圧電アクチュエータに電力を供給する電池とを具備することを特徴としている。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

図面の簡単な説明

図１は本発明の第１実施形態に係る時計において、圧電アクチュエータを組み込んだカレンダー表示機構の主要構成を示す平面図である。

図２は同実施形態に係る時計の概略構成を示す側断面図である。

図３は前記圧電アクチュエータの全体構成を示す平面図である。

図４は前記圧電アクチュエータの構成要素であるローターと突起部との断面的な接触状態を説明するための図である。

図５は前記圧電アクチュエータの前記ローターと前記突起部との断面的な接触状態の他の例を説明するための図である。

図６は前記圧電アクチュエータの構成要素である振動板を示す側断面図である。

図７は前記振動板が縦振動する様子を示す図である。

図８は前記振動板の圧電素子に電力を供給する構成の概略を示すブロック図である。

図９は前記振動板の圧電素子に電力を供給する他の構成の概略を示すブロック図である。

図１０は前記振動板が振動した場合に、前記ローターからの反力によって屈曲振動する様子を説明するための図である。

図１１は前記屈曲振動時における前記突起部の軌道を説明するための図である。

図１２は前記振動板の振動周波数とインピーダンスとの関係の一例を示すグラフである。

図１３は前記振動板の振動時における振幅を説明するための図である。

図１４は前記ローターが逆回転しようとした場合の、前記振動板の動作を説明するための図である。

図１５は前記振動板を回動自在に支持する支持部材の回動中心の位置を説明するための図である。

図１６は前記振動板を回動自在に支持する支持部材の回動中心の位置の他の例を説明するための図である。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

図１７は前記カレンダー表示機構の主要構成を示す側断面図である。

図１８は前記カレンダー表示機構の駆動回路の構成を示すブロック図である。

図１９は前記駆動回路の動作を示すタイミングチャートである。

図２０は前記圧電アクチュエータの第１の変形態様を示す平面図である。

図２１は前記圧電アクチュエータの第２の変形態様の振動板を示す側断面図である。

図２２は前記圧電アクチュエータの第２の変形態様の振動板の他の例を示す平面図である。

図２３は前記圧電アクチュエータの第３の変形態様を示す平面図である。

図２４は前記圧電アクチュエータの第３の変形態様の振動板の他の例を示す平面図である。

図２５は前記圧電アクチュエータの第３の変形態様の振動板のさらに他の例を示す平面図である。

図２６は前記圧電アクチュエータの第３の変形態様の振動板のさらにその他の例を示す図である。

図２７は前記圧電アクチュエータの第３の変形態様の振動板のまたさらにその他の例を示す図である。

図２８は前記圧電アクチュエータの第４の変形態様を示す平面図である。

図２９は前記第４の変形態様の振動板の製造方法を説明するための図である。

図３０は前記圧電アクチュエータの第４の変形態様の他の例を示す平面図である。

図３１は前記圧電アクチュエータの第５の変形態様を示す平面図である。

図３２は前記圧電アクチュエータの第６の変形態様を示す平面図である。

図３３は前記圧電アクチュエータの第６の変形態様の支持部材の振幅を説明するための図である。

図３４は前記圧電アクチュエータの第６の変形態様の他の例を示す平面図である。

図３５は前記圧電アクチュエータの第７の変形態様を示す平面図である。

図３６は前記圧電アクチュエータの第７の変形態様の振動板を回動自在に支持

THIS PAGE BLANK (USPTO)

する支持部材の回動中心の位置を説明するための図である。

図３７は前記第７の変形態様において、前記ローターが逆回転しようとした場合の、前記振動板の動作を説明するための図である。

図３８は前記圧電アクチュエータの第７の変形態様の他の例を示す平面図である。

図３９は前記圧電アクチュエータの第７の変形態様のさらに他の変形例を示す平面図である。

図４０は前記圧電アクチュエータに駆動電圧を供給する導通構成を示す図である。

図４１は前記圧電アクチュエータに駆動電圧を供給する導通構成の変形例を示す図である。

図４２は前記導通構成の変形例を示す側面図である。

図４３は前記圧電アクチュエータに駆動電圧を供給する導通構成の他の変形例を示す図である。

図４４は前記圧電アクチュエータに駆動電圧を供給する導通構成のさらに他の変形例を示す図である。

図４５は前記導通構成のさらに他の変形例を示す側面図である。

図４６は本発明の第２実施形態に係る圧電アクチュエータの全体構成を示す平面図である。

図４７は第２実施形態に係る圧電アクチュエータの構成要素である振動板を示す側面図である。

図４８は第２実施形態に係る圧電アクチュエータの前記振動板を示す平面図である。

図４９は第２実施形態に係る圧電アクチュエータの前記振動板の圧電素子に電力を供給する構成を示す図である。

図５０は第２実施形態に係る圧電アクチュエータの前記振動板が縦振動する様子と、前記振動板が屈曲振動する様子を示す図である。

図５１は第２実施形態に係る圧電アクチュエータの前記振動板が縦振動したときのローターの駆動方向を説明するための図である。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

図５２は第２実施形態に係る圧電アクチュエータの前記振動板が屈曲振動したときのローターの駆動方向を説明するための図である。

図５３は本発明の第３実施形態に係る圧電アクチュエータの全体構成を示す平面図である。

図５４は第３実施形態に係る圧電アクチュエータの変形例を示す平面図である。

図５５は本発明の第４実施形態に係る圧電アクチュエータの全体構成を示す平面図である。

図５６は第４実施形態に係る圧電アクチュエータの振動板とローターの接触部付近を示す側面図である。

図５７は第４実施形態に係る圧電アクチュエータの変形例における振動板とローターの接触部付近を示す側面図である。

図５８は第４実施形態に係る圧電アクチュエータの他の変形例の振動板が屈曲振動したときのロータの駆動方向を説明するための図である。

図５９は第４実施形態に係る圧電アクチュエータの他の変形例の前記振動板を縦振動モードと屈曲振動モードに切り換える駆動回路構成例を示す図である。

図６０は第１ないし第４実施形態に係る圧電アクチュエータの変形例を示す図である。

図６１は従来の圧電アクチュエータを用いた超音波式モータを模式的に示す平面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。

Ａ．第１実施形態

Ａ－１．全体構成

図１は、本発明の第１実施形態に係る腕時計において、圧電アクチュエータを組み込んだカレンダー表示機構の主要構成を示す平面図である。

圧電アクチュエータＡ１は、面内方向（図の紙面と平行な方向）に伸縮振動す

THIS PAGE BLANK (USPTO)

る振動板１０およびローター（回転体）１００から大略構成されている。ローター１００は地板（支持体）１０３に回転自在に支持されるとともに、振動板１０と当接する位置に配置されており、振動板１０に生じる振動によってその外周面が叩かれると、図中矢印で示す方向に回転駆動されるようになっている。

次に、カレンダー表示機構は、圧電アクチュエータＡ１と連結しており、その駆動力によって駆動される。カレンダー表示機構の主要部は、ローター１００の回転を減速する減速輪列とリング状の日車５０から大略構成されている。また、減速輪列は日回し中間車４０と日回し車６０とを備えている。

ここで、上述したように振動板１０が面内方向に振動すると、振動板１０と当接しているローター１００が時計回り方向に回転させられる。ローター１００の回転は、日回し中間車４０を介して日回し車６０に伝達され、この日回し車６０が日車５０を時計回り方向に回転させる。このように、振動板１０からローター１００、ローター１００から減速輪列、減速輪列から日車５０への力の伝達は、いずれも面内方向で行われる。このため、カレンダー表示機構を薄型化することができる。

図２は本発明の第１実施形態に係る時計の断面図である。図において、網目部分に、上述した圧電アクチュエータＡ１を備えたカレンダー機構が組み込まれており、その厚さは０．５ｍｍ程度と極めて薄い。カレンダー表示機構の上側には、円盤状の文字板７０が設けられている。この文字板７０の外周部の一部には日付を表示するための窓部７１が設けられており、窓部７１から日車５０の日付が覗けるようになっている。また、文字板７０の下側には、針７２を駆動するムーブメント７３、および後述する駆動回路（図示せず）が設けられている。

以上の構成において、圧電アクチュエータＡ１は、従来のステップモータのようにコイルやローターを厚さ方向に積み重ねるのではなく、同一平面内に振動板１０およびローター１００を配置した構成となっている。このため、構造的に薄型化に適している。このため、カレンダー表示機構を薄型化することができ、ひいては時計全体の厚さを薄くすることができる。さらに、カレンダー表示機構のある時計と、係る表示機構のない時計との間でムーブメント７３を共通化することができ、生産性を向上させることができる。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Ａ－２．圧電アクチュエータの構成

次に、本実施形態に係る圧電アクチュエータＡ１について説明する。図３に示すように、圧電アクチュエータＡ１は、図の左右方向に長く形成された長板状の振動板１０と、この振動板１０を地板１０３（図１参照）に支持する支持部材１１とを備えている。

振動板１０の長手方向の端部３５には、突起部３６がローター１００側に向けて突設されており、この突起部３６がローター１００の外周面に接触している。このような突起部３６を設けることにより、ローター１００との接触面の状態等を維持するために突起部３６に対してのみ研磨等の作業を行えばよいので、ローター１００との接触部の管理が容易となる。また、突起部３６としては、導体または非導体のものを用いることができるが、非導体から形成するようにすれば、一般的に金属から形成されるローター１００と接触しても圧電素子３０，３１がショートしないようにすることができる。

また、図示のように本実施形態では、突起部３６は、平面的に視てローター１００側に突出した曲面形状になされている。このようにローター１００と当接する突起部３６を曲面形状にすることにより、ローター１００と振動板１０の位置関係がばらついた（寸法ばらつきなどによる）場合にも、曲面であるローター１００の外周面と曲面形状の突起部３６との接触状態がさほど変化しない。従って、安定したローター１００と突起部３６の接触状態を維持することができる。

また、図４（ａ）に示すように、本実施形態では、突起部３６は断面的に視てローター１００側に突出した曲面形状となっている。一方、ローター１００の外周面には、曲面形状の凹面１００ａが形成されており、これら曲面形状の突起部３６と凹面１００ａとが接触するようになっている。このように断面的な接触構造を、曲面と曲面が接触するような構造としたので、突起部３６とローター１００との接触角度のばらつきがあった場合にも、良好な接触状態を維持することができる。例えば、図４（ｂ）に示すように、突起部３６およびローター１００の外周面を直線形状にすると、接触角度がわずかにばらついただけで接触状態が大きく変化してしまう。ここで、接触角度を一定に保つために、突起部３６を案内

THIS PAGE BLANK (USPTO)

するガイド部材を設けることも考えられるが、そのような構成では部品数の増加を招く、コスト増加の原因となってしまう。従って、本実施形態のように、突起部３６および凹面１００ａを曲面形状にすることにより、コストの大幅な増加を招くことなく、良好な接触状態を維持することができる。また、突起部３６と凹面１００ａとの係合が外れてしまうといったことが抑制される。なお、ローター１００の外周面には、曲面形状の凹面１００ａに限らず、図５に示すようにＶ溝１００ｂを形成するようにしてもよい。この場合にも、突起部３６とローター１００との接触角度のばらつきや、Ｖ溝１００ｂと１３６との係合が外れるといったことを低減することができる。

図３に戻り、振動板１０の長手方向の中央よりもややローター１００側には、支持部材１１の一端部（取付部）３７が取り付けられている。支持部材１１の他端部（固定部）３８は、ネジ３９により地板１０３（図１参照）に支持されている。この構成の下、支持部材１１は、その弾性力によって振動板１０をローター１００側に付勢した状態で支持しており、これにより振動板１０の突起部３６はローター１００の側面に当接させられている。

図６に示すように、振動板１０は、２つの長方形状の圧電素子３０，３１の間に、これらの圧電素子３０，３１とほぼ同形状であり、かつ圧電素子３０，３１よりも肉厚の小さいステンレス鋼などの補強板（補強部）３２を配置した積層構造となっている。このように圧電素子３０，３１の間に補強板３２を配置することにより、振動板１０の過振幅や外力に起因する振動板１０の損傷を低減することができる。また、補強板３２としては、圧電素子３０，３１よりも肉厚の小さいものを用いることにより、圧電素子３０，３１の振動を極力妨げないようにしている。

上下に配置された圧電素子３０，３１の面上には、それぞれ電極３３が配置されている。この電極３３を介して圧電素子３０，３１に、後述する導通構成から電圧が供給されるようになっている。ここで、圧電素子３０，３１としては、チタン酸ジルコニウム酸鉛（ＰＺＴ（商標））、水晶、ニオブ酸リチウム、チタン酸バリウム、チタン酸鉛、メタニオブ酸鉛、ポリフッ化ビニリデン、亜鉛ニオブ酸鉛（(Pb(Zn1/3-Nb2/3)03 1-x-Pb Ti 03 x)xは組成により異なる。x=0.09程度）、

THIS PAGE BLANK (USPTO)

スカンジウムニオブ酸鉛（（Pb((Sc1/2Nb1/2)1-x Tix)) 03)xは組成により異なる。x=0.09程度）等の各種のものを用いることができる。

また、本実施形態においては、電極３３は０．５μｍ以上の厚みで形成されている。通常、このような圧電素子には、０．１～０．３μｍ程度の厚みの電極が形成されるが、圧電アクチュエータＡ１では通常の電極厚みよりも厚みを有する電極を形成することにより、電極３３に電極としての機能に加えて折り曲げに対する補強材の機能を持たせ、振動板１０の強度を向上させている。ここで、電極３３の厚みを大きくした場合、強度は向上することになるが、大きくしすぎると振動板１０の振動の妨げとなってしまう。従って、強度の向上および振動への影響を考慮した場合、電極３３の厚みは、０．５μｍ以上であり、かつ上下面に形成された電極３３の厚みの和が補強板３２の厚み以下であることが好ましい。本実施形態のように腕時計のカレンダー表示機構に組み込む圧電アクチュエータＡ１の場合、薄型化、振動への影響および強度などを考慮した場合、補強板３２は０．１ｍｍ程度であればよいので、この場合電極３３の厚みの和は０．１ｍｍ以下であればよい。

このような構成の振動板１０は、後述する駆動回路から電極３３を介して圧電素子３０，３１に交流電圧が印加されると、圧電素子３０，３１が伸縮することによって振動するようになっている。その際、図７に示すように、振動板１０が長手方向に伸縮する縦振動で振動するようになっており、これにより振動板１０は図３中矢印で示す方向に振動することになる（無負荷状態、つまり突起部３６がローター１００に接触していない状態）。また、図８に示すように、振動板１０を長板状の圧電素子３０，３１が積層された構造とし、圧電素子３０，３１の分極方向（図中矢印で示す）が逆となるように並列接続して駆動することにより、振動板１０に生じる振動の振幅を増幅させることができ、より大きな変位を得ることができる。一方、図９に示すように、圧電素子３０，３１の分極方向を同一となるように直列接続して駆動すれば、低電流で振動板１０を振動させることができる。従って、この圧電アクチュエータＡ１の使用条件（変位拡大を重視する場合や、低消費電力化を重視する場合）などにあわせて、圧電素子３０，３１の接続構造を決定すればよい。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Ａ－３．圧電アクチュエータの動作

次に、上記構成の圧電アクチュエータＡ１の動作について説明する。まず、図示せぬ駆動回路から振動板１０に電圧が印加されると、圧電素子３０，３１の伸縮によって撓み振動し、図３に示すように、突起部３６がローター１００と当接した状態で振動板１０が矢印方向に振動する。この振動による突起部３６の変位に伴ってローター１００が図中矢印方向に回転させられる。このようにローター１００が回転させられることにより、中間車１０１を介して日車１０２が回転させられ（図１参照）、表示される日や曜が切り換わるようになっている。

ここで、圧電アクチュエータＡ１では、ローター１００と当接させられる突起部３６が図３中一点鎖線で示す振動板１０の幅方向（図３の上下方向）の中心線からずれた位置に設けられているため、ローター１００の側面からの反力によって振動板１０には、図１０に示すような屈曲振動が生じるようになっている。このように電圧印加による圧電素子３０，３１の縦振動に加えて、上述した屈曲振動を誘発させれば、図１１に示すように、突起部３６が楕円軌道に沿って移動するようになる。すなわち、縦振動に加えて屈曲振動を励振させれば、より大きな変位を得ることができる。このように突起部３６の変位を大きくすることができれば、この変位に伴って駆動されるローター１００の駆動効率を向上させることができる。なお、突起部３６を設ける位置は、図示の位置に限らず、上述したローター１００からの反力によって略矩形状の振動板１０に屈曲振動を誘発できる位置に突起部３６を設けるようにすればよい。

さらに、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数がほぼ一致するような形状の振動板１０を用いれば、さらに大きな楕円軌道に沿って突起部３６を移動させることができる。このように大きな楕円軌道に沿って突起部３６が移動するようにすれば、突起部３６がローター１００と接触する時間が長くなり、接触時の突起部３６の変位が大きくなる。従って、圧電素子３０，３１の伸縮による縦振動と共振するような屈曲振動を誘発させれば、より高効率の駆動力伝達を行うことができる。

なお、上述したように、振動板１０に生じる縦振動と屈曲振動とが共振するよ

THIS PAGE BLANK (USPTO)

うな形状の振動板を用いるようにしてもよいが、振動板１０の屈曲振動の共振周波数が縦振動の共振周波数よりも若干大きくなるような形状のものを用いるようにしてもよい。このように縦振動の共振周波数よりも屈曲振動の共振周波数を若干大きくすれば、図１０に示すように振動板１０に屈曲振動が生じ、突起部３６を大きく変位させることができるとともに、振動板１０に生じる振動を安定させることができる。これは、圧電素子３０，３１への電圧印加により生じる縦振動の共振周波数よりも、この縦振動に伴って生じる屈曲振動の共振周波数が小さいと、屈曲振動が縦振動に追従できず、振動板１０に生じる振動全体が不安定となるからである。また、屈曲振動の共振周波数と縦振動の共振周波数が大きく異なる振動板では、振動板に生じる縦振動および屈曲振動の振幅が小さくなり、駆動効率が低下してしまう。従って、振動板の縦振動の共振周波数よりも屈曲振動の共振周波数が若干大きければ、振動板１０に生じる振動の振幅、つまり突起部３６の変位が小さくなることを抑制するとともに、安定した振動を生じさせることができる。例えば、図１２に示すようなインピーダンスの変化特性を有する振動板を用いれば、突起部３６が上述した楕円軌道に沿って大きく変位するとともに、振動板に安定した振動を生じることが実験的に認められた。図１２に示す特性を有する振動板は、縦振動のインピーダンスの極小値の共振周波数が２８４．３ｋＨｚであり、屈曲振動のインピーダンスの極小値の共振周波数が２８８．６ｋＨｚとなっている。従って、振動板１０の屈曲振動の共振周波数が縦振動の共振周波数よりも２％程度大きくなるような振動板１０を用いれば、上述したような効果が得られる。また、このように屈曲振動の共振周波数が若干大きくなるようにした場合、振動板１０の縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との間の周波数で励振すれば、つまりこのような範囲内の励振周波数で圧電素子３０，３１を駆動すれば、縦振動および屈曲振動の両者を誘発しやすくなり、図１１に示す楕円軌道がより大きくなるような振動を振動板１０に生じさせることができ、さらに効率のよいローター１００の回転駆動が可能となる。

また、上述したようにローター１００からの反力によって振動板１０に屈曲振動を誘発させるようにしてもよいが、振動板１０の縦振動によるローター１００からの反力によってローター１００と振動板１０の当接部である突起部３６を幅

THIS PAGE BLANK (USPTO)

方向に弾性変形させるようにし、上述したような楕円軌道に沿って突起部３６を移動させるようにしてもよい。

また、この圧電アクチュエータＡ１では、突起部３６は支持部材１１の弾性力によってローター１００側に付勢されているので、ローター１００と突起部３６との間に十分な摩擦が得られるようになっている。これにより、突起部３６とローター１００とがスリップすることが低減され、突起部３６からローター１００への安定した駆動力伝達および大きな駆動力の伝達が可能となる。

また、ローター１００および振動板１０は、共に単一部材である地板１０３に支持されているため、両者の配置間隔は一定に維持される。従って、突起部３６とローター１００との接触状態を安定して維持することができ、安定した駆動力の伝達が可能となる。

また、本実施形態に係る圧電アクチュエータＡ１では、図１３中破線で示す振動板１０の中心線の振幅の節となる位置、つまり振幅が極小となる位置に支持部材１１の端部３７が取り付けられている。具体的には、振動板１０の長手方向の中央部よりもややローター１００側に取り付けられている。これは、無負荷時には振動板１０の重心の位置、振動板１０のように長方形状の場合には長手方向の中央部が振動の節になるが、上述したようにローター１００からの反力等の影響により、実際には図１３に示したように、振動板１０の振動の節は中央部よりもローター１００側に位置することになるからである。このように振動板１０を振動の節となる位置で支持することにより、振動エネルギーの損失が減少し、より高効率の駆動力伝達が可能となる。また、振動板１０の振動に伴う支持部材１１の振動の節の位置が支持部材１１の端部３７とほぼ一致するようにすれば、振動エネルギーの損失をさらに低減することができる。なお、振動板１０が図示のような長方形状でない場合にも、振動板の重心よりもローター１００側で支持するようにすればよい。これは、ローター１００からの反力等の影響により振動板１０の振動の節は、振動板１０の重心よりもローター１００側に移動するからであり、この節の位置で振動板１０を支持部材１１が支持するようにすればよい。

さらに、本実施形態に係る圧電アクチュエータＡ１では、圧電素子３０，３１と補強板３２とが積層された構造の振動板１０が増幅部材を介さずにローター１

THIS PAGE BLANK (USPTO)

００を回転駆動することができるので、構成が簡易となり、装置の小型化が容易となる。また、圧電アクチュエータＡ１の機械的な構成要素は、振動板１０と支持部材１１等であり、厚さ方向（図１の紙面垂直方向）に部品等を積層されていないため、薄型化も容易である。

また、圧電アクチュエータＡ１では、ローター１００を図中矢印で示す一方向にのみ駆動する構成であり、逆方向へローター１００を駆動するための別の振動板や、振動板のローター１００への当接方向を変化させる機構などがない、すなわち振動板１０の振動を妨げる要素が少ないため、より効率よく駆動力を伝達することができる。

また、本実施形態に係る圧電アクチュエータＡ１では、ローター１００を一方向にのみ駆動する構成であるため、ローター１００の逆方向への回転を規制する必要があるが、大きな外力が加わるまたは負荷が増大すると、振動板１０による駆動力に抗してローター１００が逆回転しようとすることがある。例えば、突起部３６とローター１００との間の摩擦力を越える逆回転力が生じた場合、両者が滑ってしまい、ローター１００の逆回転を許容することになる。しかし、本実施形態に係る圧電アクチュエータＡ１では、図１４に示すように、支持部材１１が剛体ではなく弾性を有しているので、逆方向へ回転しようとする方向の力が大きくなって逆方向に押し返された場合には、ローター１００の逆回転とともに、突起部３６がローター１００と接触した状態で振動板１０が回動することを許容するようになっている。ここで、図１５に示すように、本実施形態では、振動板１０に許容される回動の中心がローター１００と突起部３６の接触点Ａから点Ａにおけるローター１００の駆動方向と逆方向に伸びる線Ｂと点Ａにおいて線Ｂと直交する線Ｃとによって形成される象限内に位置するように設定されている。つまり、上述した象限内に位置する支持部材１１の端部３８を中心として振動板１０が回動することを許容するようにしている。このような位置に回動中心を設けることにより、ローター１００の逆回転に伴って振動板１０が図中時計回りに回動すると、突起部３６がローター１００側にくいこむように変位する。従って、突起部３６がローター１００を押圧する力が大きくなり、両者の間の摩擦が大きくなる。これにより、振動板１０からより大きなトルク（正方向へ回転させようと

THIS PAGE BLANK (USPTO)

する）を伝達することができ、負荷増大や外力等に起因するローター１００の逆方向への回転を抑止することができる。つまり、負荷増大時には、その負荷の増大に対応して駆動トルクを増加することができるのである。そして、逆方向への力がなくなるもしくは減少すると、支持部材１１の弾性力によって振動板１０が図１４中一点鎖線で示す下の位置に戻る。

また、このように両者の間の摩擦を増加させる以外にも、図１６に示すように、外力等によりローター１００が逆回転しようとした場合、突起部３６がこの移動に伴って矢印で示す駆動方向の逆方向側へ逃げるように振動板１０を回動させるようにしてもよい。このように振動板１０を回動させるには、図示のように振動板１０の回動中心がローター１００と突起部３６の接触点Ａから点Ａにおけるローター１００の駆動方向に伸びる線Ｄと点Ａにおいて線Ｄと直交する線Ｃとによって形成される象限内に位置するように設定すればよい。このようにすれば、上述したように突起部３６が逃げるように振動板１０を回動させることが可能となり、外力等に起因してローター１００や突起部３６等が損傷することを低減できる。

Ａ－４．カレンダー表示機構の構成

次に、カレンダー表示機構の構成を、図１およびその断面図である図１７を参照しつつ説明する。図において、地板１０３は、各部品を配置するための第１の底板であり、また、地板１０３’は、地板１０３に対して部分的に段差を持った第２の底板である。ローター１００の上方には、ローター１００と同軸かつローター１００に伴って回転させられる歯車１００ｃが設けられている。日回し中間車４０は、大径部４ｂとこれと同心を成すように固着され大径部４ｂよりも若干小径に形成された小径部４ａとから構成されており、ローター１００に伴う歯車１００ｃの回転に伴って、歯車１００ｃと歯合する大径部４ｂが回転させられて中間車４０が回転させられるようになっている。小径部４ａの周面は略正方形状に切り欠かれ、切欠部４ｃが形成されている。また、地板１０３’には日回し中間車４０のシャフト４１が形成されており、日回し中間車４０の内部にはシャフト４１と連結する軸受け（図示せず）が形成されている。したがって、日回し中

THIS PAGE BLANK (USPTO)

間車４０は、地板１０３’に対して回動自在に設けられている。なお、ローター１００も内部に軸受け（図示せず）を有しており地板１０３に対して回動自在に軸支されている。

次に、日車５０は、リング状の形状をしており、その内周面に内歯車５ａが形成されている。日回し車６０は五歯の歯車を有しており、内歯車５ａに噛合している。また、日回し車６０の中心にはシャフト６１が設けられており、日回し車６０を回動自在に軸支している。シャフト６１は、地板１０３’に形成された貫通孔６２に遊挿されている。貫通孔６２は日車５０の周回方向に沿って長く形成されている。

次に、板バネ６３は、その一端は地板１０３’に固定され、他端はシャフト６１に固定されている。これにより、板バネ６３は、シャフト６１および日回し車６０を付勢する。また、この板バネ６３の付勢作用によって日車５０の揺動も防止される。

次に、板バネ６４は、一端が地板１０３’にねじ止めされており、その他端には略Ｖ字状に折り曲げられた先端部６４ａが形成されている。また、接触子６５は、日回し中間車４０が回転し先端部６４ａが切欠部４ｃに入り込んだときに板バネ６４と接触するように配置されている。板バネ６４には所定の電圧が印加されており、接触子６５に接触すると、その電圧が接触子６５にも印加される。したがって、接触子６５の電圧を検出することによって、日送り状態を検出することができる。なお、内歯車５ａに噛合する手動駆動車を設け、ユーザが龍頭（図示せず）に対して所定の操作を行うと、日車５０を駆動するようにしてもよい。

Ａ－５．カレンダー表示機構の動作

カレンダーの自動更新動作について図１を参照しつつ説明する。各日において午前０時になると、午前０時になったことが検出され、後述する駆動回路５００から駆動信号Ｖが圧電素子３０，３１に供給される。すると、振動板１０が上述したように振動する。これにより、ローター１００が時計回り方向に回転し、これに伴って日回し中間車４０が反時計回り方向に回転を開始する。

ここで、駆動回路５００は、板バネ６４と接触子６５が接触した時に駆動信号

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Vの供給を終了するように構成されている。板バネ６４と接触子６５とが接触する状態では先端部６４ａが切欠部４ｃに入り込んでいる。したがって、日回し中間車４０は、そのような状態から回転を開始する。

日回し車６０は板バネ６３によって時計回り方向に付勢されているため、小径部４ａは日回し車６０の歯６ａ，６ｂに摺動しつつ回転することになる。その途中で切欠部４ｃが日回し車６０の歯６ａの位置に達すると、歯６ａが切欠部４ｃと噛合する。その際、日回し車６０の外接円はＣ１に示す位置にまで移動している。

次に、日回し中間車４０が引き続き反時計回り方向に回動すると、日回し車６０は日回し中間車４０に連動して１歯分、すなわち「１／５」周だけ時計回り方向に回動する。さらに、これに連動して、日車５０が時計回り方向に１歯分（１日分の日付範囲に相当する）だけ回動される。なお、月内の日数が「３１」に満たない月の最終日においては、上記動作が複数回繰返され、暦に基づく正しい日が日車５０によって表示されることになる。

そして、日回し中間車４０が引き続き反時計回り方向に回動して、切欠部４ｃが板バネ６４の先端部６４ａの位置に達すると、先端部６４ａが切欠部４ｃに入り込む。すると、板バネ６４と接触子６５とが接触して、駆動信号Ｖの供給が終了し、日回し中間車４０の回転が停止する。したがって、日回し中間車４０は、１日に１回転することになる。

ところで、圧電アクチュエータＡ１の負荷は、１）板バネ６４の先端部６４ａが切欠部４ｃに入り込んだ状態から抜け出るまでの第１の期間と（回転の開始時）、２）切欠部４ｃが日回し車６０と噛合して日車５０を回動させている第２の期間において、増大する。圧電アクチュエータＡ１の負荷が増大すると、ローター１００と突起部３６との滑りが増し、最悪の場合にはローターを駆動することができなくなる。しかしながら、この例の機構系では、第１の期間と第２の期間とが重ならないようになっている。すなわち、日送り状態の検出のために必要とされる最大トルク時と、日車５０を駆動するために必要とされる最大トルク時とをずらしている。したがって、圧電アクチュエータＡ１のピーク電流を抑圧することができ、この結果、電源電圧をある電圧値以上に維持して、確実に時計を

THIS PAGE BLANK (USPTO)

動作させることができる。

Ａ－６．駆動回路

次に、図１８は、圧電素子３０，３１に電圧を印加する駆動回路５００のブロック図であり、図１９は駆動回路５００のタイミングチャートである。午前０時検出手段５０１は、ムーブメント７３（図２参照）に組み込まれた機械的なスイッチであり、午前０時になると、図１９（ａ）に示す第１の制御パルスCTLaを出力する。また、日送り検出手段１０２は、上述した板バネ６４と接触子６５を主要部とするものであり、板バネ６４と接触子６５が接触すると図１９（ｂ）に示す第２の制御パルスCTLbを出力する。

次に、制御回路５０３は、第１の制御パルスCTLaと第２の制御パルスCTLbとに基づいて、発振制御信号CTLcを生成する（図１９（ｃ）参照）。制御回路５０３は、例えば、ＳＲフリップフロップで構成し、第１の制御パルスCTLaをセット端子に供給するとともに、第２の制御パルスCTLbをリセット端子に供給するようにすればよい。この場合には、図１９（ｃ）に示すように、第１の制御パルスCTLaがローレベルからハイレベルに立ち上がると、発振制御信号CTLcはローレベルからハイレベルに変化し、その状態が第２の制御パルスCTLbの立ち上がりまで維持され、そのタイミングでハイレベルからローレベルに変化する。

次に、発振回路５０４は、振動板１０の振動モードの次数をｎ次としたとき、発振周波数がfs(n)とほぼ等しくなるように構成されている。なお、発振回路５０４は、例えば、コルピッツ型の形式で構成すればよい。

また、この発振回路５０４への給電は発振制御信号CTLcによって制御されるようになっており、発振制御信号CTLcがハイレベルのとき給電され、ローレベルのとき給電が停止されるようになっている。したがって、発振回路５０４の出力である駆動信号Ｖの信号波形は、図１９（ｄ）に示すように発振制御信号CTLcがハイレベルのとき振れるものとなる。

上述したように日回し中間車４０は１日に１回転するが、その期間は午前０時から開始する限られた時間である。したがって、発振回路５０４は当該期間のみ発振していれば足りる。この例の駆動回路５００にあっては、発振回路５０４へ

THIS PAGE BLANK (USPTO)

の給電を発振制御信号CTLcによって制御することにより、日回し中間車４０を回動させる必要のない期間は、発振回路５０４の動作を完全に停止させている。したがって、発振回路５０４の消費電力を削減することができる。

Ａ－７．圧電アクチュエータの変形例

なお、上述した構成の圧電アクチュエータＡ１に代えて、以下のような種々の変形した態様の圧電アクチュエータを用いることも可能であり、またこれらの変形態様を組み合わせた態様の圧電アクチュエータを用いることも可能である。

Ａ－７－１．第１の変形態様

上述した実施形態に示した圧電アクチュエータＡ１では、振動板１０におけるローター１００との接触部に突起部３６を設けるようにしていたが、図２０に示すように、長方形状の振動板１０のローター１００側の頂点を切り欠いた切り欠き部９０を形成し、切り欠き部９０をローター１００の側面と当接させるようにしてもよい。この場合にも、上述した突起部３６と同様に切り欠き部９０の表面状態の管理が容易となる。ここで、切り欠き部９０を曲面形状とすることにより、上述した圧電アクチュエータＡ１と同様に良好な接触状態を維持することができる。

Ａ－７－２．第２の変形態様

また、上述した実施形態では、圧電素子３０，３１の全面上に電極３３を設けるようにしていたが、図２１に示すように、圧電素子３０，３１の長手方向中央部付近にのみ電極３３を配置し、両端側には電極３３を配置しないようにしてもよい。つまり、圧電素子３０，３１がその面上に電極を有する電極部と、その両端側に位置する無電極部を有する構成とするようにしてもよい。このようにすれば、ローター１００への駆動力を維持しつつ、低駆動電圧化が可能となる。これは、振動板１０をその固有振動周波数で振動させた場合、その振動による振動板１０の両端側の変位は十分大きく、その部分に電圧を印可して両端側の圧電素子３０，３１を伸縮させても、さらに変位を大きくするものとはならないためであ

THIS PAGE BLANK (USPTO)

る。

また、図２２に示すように、圧電素子３０，３１の幅方向（図の上下方向）の中央部付近にのみ電極３３を配置し、幅方向の両端側（図の上下側）には電極３３を配置しないようにしてもよい。

Ａ－７－３．第３の変形態様

また、上述した実施形態では、長方形状の振動板１０を用いるようにしていたが、図２３に示すように、ローター１００側の幅が小さいテーパー状の振動板９５を用いるようにしてもよい。このような形状の振動板９５を作製する場合、上述した振動板１０と同様にテーパー状の圧電素子と補強板を積層すればよい。このような振動板９５を用いれば、振動板１０のローター１００側の端部９６の変位が大きくなり、ローター１００の高速駆動が可能となる。また、図の上下方向である幅方向の長さが不均一になるため、振動板１０の幅方向の共振を抑制する、すなわち幅方向の振動を低減することができる。

また、図２３に示すような形状に限らず、図２４に示すような形状の振動板９７を用いるようにしてもよい。同図に示すように、この振動板９７は、全体としてテーパー状に形成された振動板９５と異なり、一部分（図示の場合、ローター１００側）がテーパー状に形成されている。このような形状の振動板９７を用いた場合にも、図２３に示す振動板９７と同様に長方形状の振動板１０と比してローター１００の高速駆動が可能となる。

また、図２３および図２４に示したようなテーパー状に限らず、ローター１００側が細くなるような形状の振動板を用いれば、ローター１００の高速駆動が可能となる。例えば、図２５に示すような形状の振動板９８を用いるようにしてもよい。

ところで、図２３～２５に示した振動板は、ローター１００を高速駆動する場合に好適であるが、ローター１００を低速・高トルクで駆動する場合には、図２６に示すような形状の振動板９９を用いるようにすればよい。同図に示すように、振動板９９は、ローター１００側の幅が大きくなるような形状である。この振動板９９では、長方形状の振動板１０と比較してローター１００との接触部である

THIS PAGE BLANK (USPTO)

端部９６の変位は小さくなるが、ローター１００を回転させようとするトルクが増加し、これにより低速・高トルク駆動が可能となる。

また、図２３～２６に示したような長方形以外の形状の振動板を用いた場合にも、その上下面に設ける電極の形状は長方形であってもよい。例えば、図２７に示すように、振動板９５に長方形状の電極を形成した場合には、低駆動電圧での高速駆動が可能となる。

Ａ－７－４．第４の変形態様

また、図２８に示すように、振動板１０からローター１００側に延出するホーン部（延出部）１１０を設けるようにしてもよい。このようなホーン部１１０を設ける場合には、図２９に示すように、補強板３２を図示のようにホーン部１１０を含んだ形状に作製し、これの上下にそれぞれ圧電素子３０，３１を積層するようにすればよい。この構成の下、振動板１０を振動させれば、図２８中破線で示すような振幅で振動板１０およびホーン部１１０が振動する。従って、ローター１００と当接するホーン部１１０の先端の変位が大きくなり、効率よく駆動力付与を行うことができる。なお、ホーン部１１０は図２８に示すような形状に限らず、図３０に示すような形状のものであってもよい。

Ａ－７－５．第５の変形態様

また、図３１に示すように、振動板１０の突起部３６とローター１００との接線、つまり振動初期状態での突起部３６からローター１００への押し付け力Ｆの方向と垂直な線Ｓ上に支持部材１１の端部３８が位置するように配置してもよい。つまり、ローター１００と突起部３６との当接点における駆動方向線Ｓ上に支持部材１１の固定部分が位置するようにしてもよい。このような位置関係となるように振動板１０、支持部材１１およびローター１００を配置すれば、突起部３６のローター１００への押し付け力等を調整するために、ネジ３９で固定された端部３８を中心に支持部材１１および振動板１０の位置の微調整を行った場合にも、ローター１００と突起部３６との接触位置や角度が変化せず、常に安定した駆動力付与を行うことができる。また、形状、位置ずれおよび経時変化などに起因す

THIS PAGE BLANK (USPTO)

る振動板とローターの接触角度の変化を防止することができる。

Ａ－７－６．第６の変形態様

また、図３２に示すように、２つの支持部材１１で振動板１０の長手方向の両端側をそれぞれ支持するようにしてもよい。このようにすれば、振動板１０の幅方向（図の上下方向）の振動を抑制する、つまりローター１００の駆動に必要となる図の左右方向の振動の妨げとなる振動を抑制することができる。この場合、図３３に示すように支持部材１１における端部３７が振動板１０の振動に伴う支持部材１１の振動の腹となる位置とほぼ一致する、例えば支持部材１１の長さを支持部材１１の振動波長の１／４となる長さにすれば、振動板１０の長手方向である図の左右方向の振動を妨げとなることが減少し、効率がさらに向上する。

また、このように２つの支持部材１１で振動板１０を支持する場合、図３４に示すように、いずれか一方の支持部材１１（図の右側）で振動板１０の振動の節となる位置を支持し、他方の支持部材１１（図の左側）で振動板１０におけるローター１００側の端部を支持するようにしてもよい。このようにすれば、一方の支持部材１１は振動の節を支持するようにしているので、振動エネルギーの損失が減少するとともに、他方の支持部材１１はローター１００との接触部付近での幅方向の振動を抑制することができる。

Ａ－７－７．第７の変形態様

また、上述した実施形態では、支持部材１１が振動板１０をローター１００側に付勢するようにしていたが、図３５に示すように、ばね部材（弾性部材）１８０を設けて振動板１０をローター１００側に付勢するようにしてもよい。同図に示すように、振動板１０の図の上側には支持部材１１が取り付けられており、振動板１０の下側には、ばね部材１８０の一端が取り付けられている。ばね部材１８０の他端は、地板１０３（図１参照）に立設されたピン１８１に支持されている。これにより、振動板１０は図の上側であるローター１００側に付勢され、突起部３６がローター１００の側面に当接させられるようになっている。このようにばね部材１８０を設けて振動板１０をローター１００側に付勢するようにすれ

THIS PAGE BLANK (USPTO)

ば、上述した実施形態の圧電アクチュエータＡ１と同様に安定した駆動力の伝達を行うことができる。

このように振動板１０を支持する支持部材１１と振動板１０をローター１００側に付勢するばね部材１８０を設けた場合にも、図３６に示すように、上述した実施形態と同様に線Ｂと線Ｃによって形成される象限内の位置（例えば図示のように端部３８の位置）を中心として振動板１０が回動できるようにしておけばよい。このようにすれば、外力によってローター１００が逆回転しようとした場合にも、図３７に示すように、振動板１０がローター１００の逆回転に伴って回動した後、振動板１０が元の位置に戻ることにより、振動板１０の戻りに伴ってローター１００が正方向に戻り、ローター１００の逆回転を抑制することができる。

なお、このように支持部材１１とばね部材１８０を設けた場合にも、図３８に示すように、振動板１０をテーパー状に形成してもよいし、またホーン部（図２８参照）を設けるようにしてもよい。

また、図３９に示すように、振動板１０を支持する支持部材と振動板１０をローター１００側に付勢するばね部材を一体化した弾性支持部材６００を設けるようにしてもよい。同図に示すように、弾性支持部材６００は、Ｌ字状の部材であり、振動板１０を支持する支持部６００ａと、支持部６００ａから屈曲して伸びるばね部６００ｂとを有している。そして、支持部６００ａとばね部６００ｂの中間部分である屈曲部でネジ３９に支持されるとともに、ばね部６００ｂの端部がピン１８１に支持されることにより、振動板１０がローター１００側に付勢され、これにより突起部３６とローター１００の外周面が当接させられている。また、弾性支持部材６００は、ネジ３９の部分を中心として若干の回動が許容されており、これにより圧電アクチュエータＡ１と同様にローター１００の逆回転を規制することができる。

Ａ－７－８．第８の変形態様

また、上述した実施形態においては、振動板１０が補強板３２の上下に圧電素子３０，３１をそれぞれ積層した構造となっていたが、これに限らず、振動板を１つの圧電素子と補強板を積層するといった簡易な構造のものでもよい。また、

THIS PAGE BLANK (USPTO)

３つ以上の圧電素子を積層して構成するようにしてもよい。

Ａ－８．圧電アクチュエータへの導通構成

次に、上述した様々な態様の圧電アクチュエータの圧電素子に駆動回路５００から駆動電圧を供給する導通構成について説明する。通常、駆動回路５００から振動板１０に設けられた電極３３に配線を施すことにより、圧電素子に電力を供給することができるが、導通構成の簡略化を目的として、図４０～４５に示すような様々な導通構成によって圧電素子に電力を供給するようにしてもよい。

上述した圧電アクチュエータＡ１では、振動板１０が補強板３２の上下に圧電素子３０，３１をそれぞれ積層した構造となっていたが、図４０に示す圧電アクチュエータは、１つの圧電素子２５１の上下にそれぞれ補強板３２を積層した構造となっている。そして、上層の補強板３２を支持部材１１ａで支持し、下層の補強板３２を支持部材１１ｂで支持するようにし、補強板３２および支持部材１１ａ，１１ｂをそれぞれ導電体で形成している。この構成の下、駆動回路５００からの駆動電圧が支持部材１１ａ，１１ｂおよび補強板３２を介して圧電素子２５１に供給されるようになっている。このようにすれば、支持部材１１ａ，１１ｂが振動板１０をローター１００側に付勢しながら支持する機能に加えて圧電素子２５１に駆動電圧を供給する導通機能を有することになる。従って、別に圧電素子２５１に駆動電圧を供給するための配線等の導通構成を設ける必要がなくなり、構成が簡易となる。また、他に導通部品を設けた場合、その導通部品が振動板１０の振動の妨げとなることがあるが、この導通構成ではそのような問題がなく、効率のよい駆動力伝達を行うことができる。

また、図４１および図４２に示すように、補強板３２とその上下に圧電素子３０，３１をそれぞれ積層した振動板１０を用いる場合にも、導電体から形成される支持部材１１ｃ，１１ｄを介して駆動回路５００から圧電素子３０，３１に駆動電圧を供給するようにしてもよい。

図４１および図４２に示すように、支持部材１１ｃは、振動板１０側で２つに分岐する形状になされており、上側（図４１の紙面手前側）に分岐した上端部２６０、および下側（図の紙面奥側）に分岐した下端部２６１を有している。上端

THIS PAGE BLANK (USPTO

部２６０は、圧電素子３０の面上に形成された電極３３にはんだや導電性接着剤等により取り付けられており、下端部２６１は、圧電素子３１の面上に形成された電極３３にはんだや導電性接着剤等により取り付けられている。一方、支持部材１１ｄは、補強板３２に取り付けられており、これにより駆動回路５００から圧電素子３０，３１に駆動電圧が供給されるようになっている。この場合にも、上述したように支持部材１１ｃ，１１ｄが振動板１０を支持する機能を有するとともに、圧電素子３０，３１への導通機能を有することになり、構成が簡易となるとともに、効率のよい駆動力伝達を行える。

上述したように導電体から形成される支持部材を介して駆動回路から圧電素子に駆動電圧を供給するようにしてもよいが、図４３に示すような導通構成で圧電素子に駆動電圧を供給するようにしてもよい。同図に示すように、この導通構成では、Ｃ字状の弾性導通部材２８０で振動板１０の上下面（電極３３）を挟持させ、補強板３２から駆動回路５００に配線を接続している。このような弾性導通部材２８０を用いれば、簡易な構成でありながら、駆動回路５００から上下に積層された圧電素子３０，３１に駆動電圧を供給することができる。

また、図４４および図４５に示すように、振動板１０に導線２９０を巻き付けるようにし、巻き付けた導線２９０を介して駆動回路５００から駆動電圧を圧電素子３０，３１に供給するようにしてもよい。このようにしても簡易な導通構成で圧電素子３０，３１に駆動電圧を供給することができる。なお、上述したように弾性導通部材２８０や導線２９０を介して電圧を供給する場合、振動板１０の積層構造は、上下面に電極が配置される構造であってもよいし、上下面に導体かなる補強板が配置される構造のものであってもよい。また、圧電素子と補強板の積層構造である振動板以外にも、圧電素子に電圧を供給する場合にも、上述した弾性導通部材２８０や導線２９０を用いることができる。

Ｂ．第２実施形態

次に、本発明の第２実施形態に係る圧電アクチュエータについて説明する。なお、第２実施形態において、第１実施形態と共通する構成要素については、同一の符号を付けて、その説明を省略する。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

図４６に示すように、第２実施形態に係る圧電アクチュエータは、第１実施形態に係る圧電アクチュエータＡ１の振動板１０の代わりに振動板３１０を備えた構成となっている。

図４７に示すように、振動板３１０は、第１実施形態における振動板１０と同様に補強板３２の上下に圧電素子３０，３１それぞれ積層した構造であるが、図４８に示すように、圧電素子３０，３１上に電極３３ａ，３３ｂ，３３ｃ，３３ｄが配置されている点で振動板１０と異なっている。また、振動板３１０では、圧電素子３０を（図示はしないが圧電素子３１も同じ）４つの領域に分割し、分割された領域上にそれぞれ電極３３ａ，３３ｂ，３３ｃ，３３ｄを配置している。

このように圧電素子３０の４つの領域上に配置された電極３３ａ，３３ｂ，３３ｃ，３３ｄに駆動電圧を供給する導通構成について図４９を用いて説明する。同図に示すように、スイッチ（選択手段）３４１のオン／オフを切り換えることによって、電源３４０から駆動電圧を全ての電極３３ａ，３３ｂ，３３ｃ，３３ｄに供給するモードと、電源３４０から電極３３ａ，３３ｄに供給するモードとを切り換えることができるようになっている。

ここで、スイッチ３４１がオンになされ、全ての電極３３ａ，３３ｂ，３３ｃ，３３ｄに駆動電圧を供給するモードが選択された場合には、図５０（ａ）に示すように、上述した第１実施形態と同様に振動板３１０が長手方向に伸縮して、振動板３１０の長手方向に縦振動するようになっている（以下、縦振動モードとする）。一方、スイッチ３４１がオフになされ、電極３３ａ，３３ｄにのみ駆動電圧を供給するモードが選択された場合には、駆動電圧が印加された領域のみの圧電素子３３ａ，３３ｄが伸縮し、図５０（ｂ）に示すように、振動板３１０は振動板３１０の属する平面内で幅方向（図の上下方向）に屈曲振動するようになっている（以下、屈曲振動モードとする）。このように、スイッチ３４１を切り換えることによって振動板３１０の振動モードを選択することができるようになっている。

第２実施形態に係る圧電アクチュエータでは、上述したように２つの振動モードを切り換えることが可能な振動板３１０を用いてローター１００を駆動しており、スイッチ３４１を操作して振動モードを切り換えることによりローター１０

THIS PAGE BLANK (USPTO)

０の駆動方向を切り換えることができきるようになっている。縦振動モードが選択されている場合には、図５１に示すように、振動板３１０の縦振動によって、ローター１００と突起部３６の当接部から図中左向きの駆動力が付与され、これによりローター１００が図中時計回りに回転させられる。

一方、屈曲振動モードが選択された場合、図５２に示すように、振動板３１０の屈曲振動によって、ローター１００と突起部３６との当接部から図中上向きの駆動力が付与され、これによりローター１００が図中反時計回りに回転させられるようになっている。

第２実施形態に係る圧電アクチュエータでは、スイッチ３４１を切り換えることにより、ローター１００を正方向および逆方向に駆動することができる。上述したように振動板３１０の振動モードを切り換えることにより、駆動方向の切り換えを行うようにしたので、駆動方向毎に振動板を設けたり、振動板と駆動対象であるローターとの位置関係を調節する調節機構を設けたりする必要がない。従って、構成の複雑化および装置の大型化を招くことなく、駆動方向を正逆に切り換えることが可能である。

なお、第２実施形態に係る圧電アクチュエータにおいても、上述した第１実施形態と同様に種々の変形が可能である。例えば、振動板３１０に突起部３６の代わりに切り欠き部を設けるようにしてもよい（図２０参照）。また、振動板３１０の突起部３６とローター１００との接線上に支持部材１１の端部３８が位置するようにし、突起部３６とローター１００との接触状態を安定させるようにしてもよい（図３１参照）。また、支持部材１１に加えてばね部材を設けるようにし、このばね部材によって振動板３１０をローター１００側に付勢するようにしてもよい（図３５参照）。

Ｃ．第３実施形態

次に、本発明の第３実施形態に係る圧電アクチュエータについて説明する。なお、第３実施形態において、第１および第２実施形態と共通する構成要素には、同一の符号を付けて、その説明を省略する。

上述した第１および第２実施形態では、振動板がばね部材や支持部材の付勢力

THIS PAGE BLANK (USPTO)

によってローター１００側に押圧されていたが、第３実施形態は、ローター１００を振動板側に押圧する構成となっており、この構成について図５３を用いて説明する。同図に示すように、この実施形態では、ローター１００の回転軸１００ｊが弾性回動部材５５０の一端に支持されており、回転軸１００ｊは弾性回動部材５５０の回動軸５５０ａを中心として回動自在になされている。弾性回動部材５５０は、一端が回転軸１００ｊを支持するとともに他端が回動軸５５０ａに回動自在に支持される回動部５５０ｂと、回動部５５０ｂの回動軸５５０ａ側から屈曲して延出するばね部５５０ｃとから構成されている。そして、ばね部５５０ｃの側面が立設されたピン５５１に支持されることにより、回動部５５０ｂが図中時計回りに回動させられるように付勢されている。つまり、ローター１００の回転軸１００ｊが図の右側に付勢されるようになっている。

一方、振動板１０は、第１実施形態と異なり、幅方向の両端で剛体からなる支持部材５５２によって支持されている。ここで、支持部材５５２は、振動板１０が振動した場合の振動の節となる位置で振動板１０を支持するようになっており、振動板１０と支持部材５５２の取付部５５３の位置は固定されている。このように振動板１０を振動の節となる位置で固定することにより、振動板１０の振動を安定させることができる。また、振動板１０を固定支持した場合にも、ローター１００が振動板１０側に付勢されているので、ローター１００の外周面と突起部３６との間で十分な摩擦が生じ、両者の間でより効率の高い駆動力伝達を行える。

また、ローター１００と同軸、つまり回転軸１００ｊを回転軸としてローター１００とともに回転する第１歯車５５５と、第１歯車５５５と歯合する第２歯車５５６といった増速または減速等のための歯車機構等を有する場合には、図示のように弾性回動部材５５０の回動軸５５０ａと、回転軸１００ｊと、第２歯車５５６の回転軸５５６ａをほぼ一直線Ｌ上になるように各構成要素を配置し、ローター１００の回転軸１００ｊから直線Ｌと直交する方向に突起部３６が位置するように振動板１０を配置することが好ましい。これは、このような配置とすることにより、取付時のばらつき、寸法ばらつき、および接触部の磨耗などによって弾性回動部材５５０が回動した場合にも、ローター１００と突起部３６との接触角がほとんど変化せず、良好な接触状態を維持することができるからである。ま

THIS PAGE BLANK (USPTO)

た、第１歯車５５５が回動した場合、第１歯車５５５と第２歯車５５６の位置関係もほとんど変化せず、安定した駆動力の伝達が行える。

また、上述した構成では、第２歯車５５６にかかる負荷が大きくなる、つまり第２歯車５５６が図中反時計回りである駆動方向と逆方向に回転しようとする力が大きくなると、第１歯車５５５およびローター１００にも時計回りに回転しようとする力が増加することになる。すなわち、第１歯車５５５は第２歯車５５６との歯合部分において図中右方向に受ける力が増加することになる。これに伴って、回転軸１００ｊを支持する弾性回動部材５５０が図中時計回りに回動しようとする力が増加し、これによりローター１００の外周面が突起部３６を押圧する力が増加することになる。このようにローター１００の外周面が突起部３６を押圧する力が増加すると、両者の間の摩擦が大きくなり、振動板１０からローター１００に伝達できる回転トルクが増加することになる。このように、この圧電アクチュエータでは、負荷が増加するに伴って回転トルクを増加させることができる。逆に、負荷が少なくなる場合には、ローター１００の外周面と突起部３６との間の摩擦が減少することになるが、摩擦が減少することにより低電力でのローター１００の駆動が可能となる。従って、第３実施形態に係る圧電アクチュエータでは、低負荷時には低消費電力での動作が可能でありながら、最大トルクを向上させることができる。

なお、第３実施形態では、ローター１００の回転軸１００ｊを移動可能にし、弾性回動部材５５０がローター１００を振動板１０側に付勢するようにしていたが、これに限らず、図５４に示すように、ローター１００を弾性体から形成し、ローター１００自体の弾性力でローター１００の外周面を振動板１０側に押圧するような構成であってもよい。この場合、外力を受けていないとき、つまり弾性変形していないときのローター１００が図の二点差線で示す外周面が突起部３６と交錯する位置に配置されるような位置にローター１００の回転軸１００ｊの位置を固定すれば、ローター１００が元の形状に戻ろうとする弾性力によってローター１００の外周面と突起部３６とが押圧接触した状態となり、両者の間に十分な摩擦が生じ、効率のよい駆動力伝達が行える。また、このような弾性力を有するローター１００としては、図示のように中空部を有する形状のものであれば、

THIS PAGE BLANK (USPTO)

金属材などを使用することも可能である。

また、第３実施形態においては、上述した振動板１０以外にも、第１実施形態と同様、様々な態様の振動板を用いるようにしてもよいし、第２実施形態に示した振動板３１０のように縦振動モードと屈曲振動モードを選択できる振動板を用いるようにしてもよい。

Ｄ．第４実施形態

次に、本発明の第４実施形態に係る圧電アクチュエータについて説明する。なお、第３実施形態において、第１ないし第３実施形態と共通する構成要素には、同一の符号を付けて、その説明を省略する。

図５５に示すように、第４実施形態に係る圧電アクチュエータは、円盤状のローター１００の表面上に、振動板１０の一端側が重ねて配置された構造となっている。ここで、図５６に示すように、振動板１０は、ローター１００の平面に対して傾けられて配置されており、振動板１０のローター１００の平面側に突設された突起部７００がローター１００の平面部に斜め方向から当接した状態となっている。

この構成の下、図示せぬ駆動回路から振動板１０の圧電素子に電圧が印加されると、振動板１０が図中矢印で示す方向に縦振動する。この縦振動においてローター１００の中心側に伸びるように振動した際に、一端部７００がローター１００の平面と接触したまま変位することにより、ローター１００が図５５中矢印で示す時計方向に回転駆動されるようになっている。

なお、振動板１０は、ローター１００の表面側だけでなく、裏面側に設けるようにしてもよい。また、図５７に示すように、振動板１０をローター１００の平面に対して傾けずに、突起部７００の下面から下方に突設される突起部７１０を設けて、この突起部７１０とローター１００の平面とを当接させるようにしてもよい。

また、第４実施形態においては、上述した振動板１０以外にも、第１実施形態と同様、様々な態様の振動板を用いるようにしてもよい。

さらに、縦振動モードと屈曲振動モードを選択できる振動板を用いるようにし

THIS PAGE BLANK (USPTO)

て、駆動対象の駆動方向を切り換えるようにしてもよい。この場合、縦振動モードでは、上記振動板と同様に振動してローター１００を駆動し、屈曲振動モードでは、図５８に示すように平面外方向に屈曲振動する振動板５８０を設け、屈曲振動モードではローター１００を縦振動モードと逆方向である図の右側に駆動するようにしてもよい。

このように縦振動モードおよび屈曲振動モードを切り換える場合、図５９に示すような駆動回路を構成するようにすればよい。そして、縦振動モードと屈曲振動モードでスイッチ５８１を図示のように切り換えれば、縦振動モードでは積層配置された２つの圧電素子３０，３１が同位相で振動することにより平面方向で縦振動し、屈曲振動モードでは圧電素子３０，３１が逆位相で振動することにより、平面外方向に屈曲振動させることができる。なお、図５９中の矢印は分極方向を示す。

E．変形例

なお、上述した様々な実施形態においては、圧電アクチュエータが円盤状のローターを回転駆動する構成となっていたが、駆動対象はこれに限定されるものではなく、例えば図６０に示すような略直方体状の駆動部材６６０に上述した振動板１０を当接させ、この直方体状部材６６０をその長手方向に駆動するようにしてもよい。

また、上述した様々な実施形態に係る圧電アクチュエータは、上述したような時計のカレンダー表示機構に搭載される以外にも、電池駆動される時計以外の携帯機器に搭載して用いることも可能である。

また、上述した様々な実施形態においては、補強板３２として板状の部材を用いるようにしていたが、これに限らず、圧電素子に積層される補強部としては、スパッタ等で形成される金属膜であってもよく、その形成方法も任意である。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

請 求 の 範 囲

1． 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向に駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

2． 前記振動板は、該振動板の属する平面内で前記支持部材によって移動可能に支持されていることを特徴とする請求項1に記載の圧電アクチュエータ。

3． 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向に駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

4． 前記振動板は、該振動板の属する平面内で前記支持部材および前記弾性部材によって回動可能に支持されていることを特徴とする請求項3に記載の圧電アクチュエータ。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

5．　前記振動板は、前記駆動対象が駆動される前記方向と逆方向に移動しようとする力が加わった場合に前記駆動対象を押圧する力が大きくなるように支持されていることを特徴とする請求項２または４に記載の圧電アクチュエータ。

6．前記振動板は、前記駆動対象が駆動される前記方向と逆方向に移動しようとする力が加わった場合に前記逆方向側に移動するように支持されていることを特徴とする請求項２または４に記載の圧電アクチュエータ。

7．　前記振動板の前記駆動対象に当接する前記端部は、突起部を有しており、この突起部が前記駆動対象に当接することを特徴とする請求項１ないし６のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

8．　前記振動板は、１つの頂点が切り欠かれた矩形状に形成されており、
前記振動板における切り欠かれた部分が前記駆動対象に当接することを特徴とする請求項１ないし６のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

9．　前記振動板は、前記駆動対象と当接する前記端部側が他端側よりも細くなる形状の部分を有していることを特徴とする請求項１ないし８のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

１０．　前記振動板は、前記駆動対象と当接する前記端部側が他端側よりも太くなる形状の部分を有していることを特徴とする請求項１ないし８のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

１１．　前記補強部は、前記圧電素子よりも前記駆動対象側に前記振動板の中央部よりも細く前記駆動対象側に伸びて前記駆動対象に当接する延出部を有していることを特徴とする請求項１ないし８のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

１２．　前記支持部材の前記固定部は、前記駆動対象の駆動方向線上に位置することを特徴とする請求項１ないし１１のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

１３．　前記圧電素子の振動によって前記振動板が長手方向に伸縮する縦振動が生じるようにし、この振動によって前記振動板が前記駆動対象から受ける反力によって、前記振動板が前記長手方向と直交する幅方向に揺動する屈曲振動が生じるようにしたことを特徴とする請求項１ないし１２のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

１４．　前記振動板に生じる縦振動と屈曲振動の共振周波数がほぼ同じになるようにしたことを特徴とする請求項１３に記載の圧電アクチュエータ。

１５．　前記振動板に生じる縦振動の共振周波数よりも前記振動板に生じる屈曲振動の共振周波数が大きいことを特徴とする請求項１３に記載の圧電アクチュエータ。

１６．　前記圧電素子を駆動する励振周波数は、前記振動板に生じる縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との間の周波数であることを特徴とする請求項１５に記載の圧電アクチュエータ。

１７．　前記圧電素子の振動によって前記振動板が長手方向に伸縮する縦振動が生じるようにし、この振動によって前記振動板が前記駆動対象から受ける反力によって、前記振動板の前記駆動対象と当接する前記端部が前記長手方向と直交する幅方向に弾性変形するようにしたことを特徴とする請求項１ないし１２のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

１８．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対

THIS PAGE BLANK (USPTO)

して回転可能に支持される回転体と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の前記表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

１９．　前記振動板は、該振動板の属する平面内で前記支持部材によって移動可能に支持されていることを特徴とする請求項１８に記載の圧電アクチュエータ。

２０．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の前記表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

２１．　前記振動板は、該振動板の属する平面内で前記支持部材および前記弾性部材によって回動可能に支持されていることを特徴とする請求項２０に記載の圧電アクチュエータ。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

２２．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の前記外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

２３．　前記振動板は、該振動板の属する平面内で前記支持部材によって移動可能に支持されていることを特徴とする請求項２２に記載の圧電アクチュエータ。

２４．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

２５．　前記振動板は、該振動板の属する平面内で前記支持部材および前記弾性部材によって回動可能に支持されていることを特徴とする請求項２４に記載の圧

THIS PAGE BLANK (USPTO)

電アクチュエータ。

２６．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持されるとともに、その回転軸が移動可能になされた回転体と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

前記回転体の外周面が前記振動板の長手方向の端部と当接するように前記回転体に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

２７．　前記回転体の回転軸を回動自在に支持する回動部材と、

前記回転体と回転軸を共通し、前記回転体と一体となって回転する第１の歯車と、

前記第１の歯車と歯合する第２の歯車とをさらに具備し、

前記回動部材の回動中心と、前記回転体および前記第２の歯車の回転軸とをほぼ一直線上に配置し、

前記回転体と前記振動板の当接位置は、前記回転体の回転軸から前記直線と直交する方向にある

ことを特徴とする請求項２６に記載の圧電アクチュエータ。

２８．　前記回転体の回転負荷の増加に伴って、前記弾性部材が前記回転体を前記振動板の前記端部側に押圧する力が増加するようにしたことを特徴とする請求項２６または２７に記載の圧電アクチュエータ。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

２９．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材とを具備しており、

前記回転体は、その外周面を前記振動板の長手方向の端部に当接する位置に配置され、その弾性力をもって前記外周面を前記振動板の前記端部に押圧する弾性体から形成されており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

３０．　前記回転体の前記外周面には、凹面状の溝が形成されていることを特徴とする請求項２２ないし２９のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

３１．　前記振動板は、前記回転体が駆動される前記方向と逆方向に移動しようとする力が加わった場合に前記駆動対象を押圧する力が大きくなるように支持されていることを特徴とする請求項２３または２５に記載の圧電アクチュエータ。

３２．前記振動板は、前記回転体が駆動される前記方向と逆方向に移動しようとする力が加わった場合に前記逆方向側に移動するように支持されていることを特徴とする請求項２３または２５に記載の圧電アクチュエータ。

３３．　前記振動板の前記回転体に当接する前記端部は、突起部を有しており、この突起部が前記回転体に当接することを特徴とする請求項１８ないし３２のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

３４．　前記振動板は、１つの頂点が切り欠かれた矩形状に形成されており、

THIS PAGE BLANK (USPTO)

前記振動板における切り欠かれた部分が前記回転体に当接することを特徴とする請求項１８ないし３２のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

３５．　前記振動板の前記回転体と当接する前記端部は、曲面形状になされていることを特徴とする請求項１８ないし３４のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

３６．　前記振動板の前記回転体と当接する前記端部は、前記回転体の回転軸方向から視た場合に、曲面形状になされていることを特徴とする請求項３５に記載の圧電アクチュエータ。

３７．　前記振動板の前記回転体と当接する前記端部は、前記振動板の幅方向から視た場合に、曲面形状になされていることを特徴とする請求項３５または３６に記載の圧電アクチュエータ。

３８．　前記支持体は、前記回転体と前記振動板の両者を支持する単一の部材を有していることを特徴とする請求項１８ないし３７のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

３９．　前記振動板は、前記回転体と当接する前記端部側が他端側よりも細くなる形状の部分を有していることを特徴とする請求項１８ないし３８のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

４０．　前記振動板は、前記回転体と当接する前記端部側が他端側よりも太くなる形状の部分を有していることを特徴とする請求項１８ないし３８のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

４１．　前記補強部は、前記圧電素子よりも前記回転体側に前記振動板の中央部よりも細く前記回転体側に伸びて前記回転体に当接する延出部を有していること

THIS PAGE BLANK (USPTO)

を特徴とする請求項１８ないし３８のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

４２．　前記支持部材の前記固定部は、前記回転体の駆動方向線上に位置することを特徴とする請求項１８ないし４１のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

４３．　前記圧電素子の振動によって前記振動板が長手方向に伸縮する縦振動が生じるようにし、この振動によって前記振動板が前記回転体から受ける反力によって、前記振動板が前記長手方向と直交する幅方向に揺動する屈曲振動が生じるようにしたことを特徴とする請求項１８ないし４２のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

４４．　前記振動板に生じる縦振動と屈曲振動の共振周波数がほぼ同じになるようにしたことを特徴とする請求項４３に記載の圧電アクチュエータ。

４５．　前記振動板に生じる縦振動の共振周波数よりも前記振動板に生じる屈曲振動の共振周波数が大きいことを特徴とする請求項４３に記載の圧電アクチュエータ。

４６．　前記圧電素子を駆動する励振周波数は、前記振動板に生じる縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との間の周波数であることを特徴とする請求項４５に記載の圧電アクチュエータ。

４７．前記圧電素子の振動によって前記振動板が長手方向に伸縮する縦振動が生じるようにし、この振動によって前記振動板が前記回転体から受ける反力によって、前記振動板の前記回転体と当接する前記端部が前記長手方向と直交する幅方向に弾性変形するようにしたことを特徴とする請求項１８ないし４２のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

４８．　前記支持部材の前記取付部は、前記振動板の長手方向の複数箇所に取り

THIS PAGE BLANK (USPTO)

付けられていることを特徴とする請求項１，２，３，４，５，６，７，８，９，１０，１１，１２，１８，１９，２０，２１，２２，２３，２４，２５，２６，２７，２８，２９，３０，３１，３２，３３，３４，３５，３６，３７，３８，３９，４０，４１，４２のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

４９．　前記支持部材の前記取付部の１つは、前記振動板の振動の節となる位置に取り付けられていることを特徴とする請求項４８に記載の圧電アクチュエータ。

５０．　前記支持部材の前記取付部の位置を前記振動板の振動に伴う前記支持部材の振動の腹となる位置と略一致するようにしたことを特徴とする請求項４８または４９に記載の圧電アクチュエータ。

５１．　前記支持部材における前記取付部は、前記振動板の振動の節となる位置に取り付けられていることを特徴とする請求項１ないし４７のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

５２．　前記支持部材の前記取付部の位置を前記振動板の振動に伴う前記支持部材の振動の節となる位置と略一致するようにしたことを特徴とする請求項５１に記載の圧電アクチュエータ。

５３．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動

THIS PAGE BLANK (USPTO)

することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向に駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を前記縦振動時と逆方向に駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

５４．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向に駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を前記縦振動時と逆方向に駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

５５．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、

THIS PAGE BLANK (USPTO)

および前記平面外の方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

５６．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面外の方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲

THIS PAGE BLANK (USPTO)

振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

５７．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

５８．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

THIS PAGE BLANK (USPTO)

前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

59. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持されるとともに、その回転軸が移動可能になされた回転体と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

前記回転体の外周面が前記振動板の長手方向の端部に当接するように前記回転体に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

６０．　前記回転体の回転軸を回動自在に支持する回動部材と、

前記回転体と回転軸を共通し、前記回転体と一体となって回転する第１の歯車と、

前記第１の歯車と歯合する第２の歯車とをさらに具備し、

前記回動部材の回動中心と、前記回転体および前記第２の歯車の回転軸とをほぼ一直線上に配置し、

前記回転体と前記振動板の当接位置は、前記回転体の回転軸から前記直線と直交する方向にある

ことを特徴とする請求項５９に記載の圧電アクチュエータ。

６１．　前記回転体の回転負荷の増加に伴って、前記弾性部材が前記回転体を前記振動板の前記端部側に押圧する力が増加するようにしたことを特徴とする請求項５９または６０に記載の圧電アクチュエータ。

６２．　支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材とを具備しており、

前記回転体は、その外周面を前記振動板の長手方向の端部に当接する位置に配置され、その弾性力をもって前記外周面を前記振動板の前記端部に押圧する弾性体から形成されており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲

THIS PAGE BLANK (USPTO)

振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

６３．　前記回転体の前記外周面には、凹面状の溝が形成されていることを特徴とする請求項５７ないし６２のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

６４．　前記振動板の前記回転体に当接する前記端部は、突起部を有しており、この突起部が前記回転体に当接することを特徴とする請求項５５ないし６３のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

６５．　前記振動板は、１つの頂点が切り欠かれた矩形状に形成されており、

前記振動板における切り欠かれた部分が前記回転体に当接することを特徴とする請求項５５ないし６４のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

６６．　前記振動板の前記回転体と当接する前記端部は、曲面形状になされていることを特徴とする請求項５５ないし６５のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

６７．　前記振動板の前記回転体と当接する前記端部は、前記回転体の回転軸方向から視た場合に、曲面形状になされていることを特徴とする請求項６６に記載の圧電アクチュエータ。

６８．　前記振動板の前記回転体と当接する前記端部は、前記振動板の幅方向から視た場合に、曲面形状になされていることを特徴とする請求項６６または６７に記載の圧電アクチュエータ。

６９．　前記支持体は、前記回転体と前記振動板の両者を支持する単一の部材を有していることを特徴とする請求項５５ないし６８のいずれかに記載の圧電アク

THIS PAGE BLANK (USPTO)

チュエータ。

７０．　前記振動板の前記駆動対象に当接する前記端部は、突起部を有しており、この突起部が前記駆動対象に当接することを特徴とする請求項５３または５４に記載の圧電アクチュエータ。

７１．　前記振動板は、１つの頂点が切り欠かれた矩形状に形成されており、
前記振動板における切り欠かれた部分が前記駆動対象に当接することを特徴とする請求項５３または５４に記載の圧電アクチュエータ。

７２．　前記補強部は、前記圧電素子よりも薄く形成されていることを特徴とする請求項１ないし７１のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

７３．　前記圧電素子は、その面上に配置される電極部を有しており、
前記電極部の厚さは、０．５μｍ以上であり、かつ前記補強部の厚さよりも小さいことを特徴とする請求項１ないし７２のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

７４．　前記圧電素子は、前記振動板の長手方向の中央部に配置される第１の電極部と、前記振動板の長手方向の両端側に配置される電極が設けられていない第１の無電極部とを有することを特徴とする請求項１ないし７２のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

７５．　前記圧電素子は、前記振動板の幅方向の中央部に配置される第２の電極部と、前記振動板の幅方向の両端側に配置される電極が設けられていない第２の無電極部を有することを特徴とする請求項１ないし７２のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

７６．　前記振動板は、積層配置される複数の前記圧電素子を有しており、

THIS PAGE BLANK (USPTO)

それぞれ隣接する圧電素子の分極方向が逆方向であることを特徴とする請求項１ないし７５のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

７７．　前記振動板は、積層配置される複数の前記圧電素子を有しており、

それぞれ隣接する圧電素子の分極方向が同一方向であることを特徴とする請求項１ないし７５のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

７８．　前記補強部は導体であり、かつ前記圧電素子の上下にそれぞれ積層されており、

前記圧電素子の上下に積層された前記補強部を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする請求項１ないし７７のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

７９．　前記支持部材は導体であり、

前記支持部材を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする請求項１ないし７８のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

８０．　前記振動板の上下面にそれぞれ接触して前記振動板を挟み込む弾性導電体をさらに具備し、

前記弾性導電体を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする請求項１ないし７９のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

８１．　前記振動板の周囲に接触しながら巻き付けられる導線をさらに具備し、

前記導線を介して前圧電素子に電力を供給することを特徴とする請求項１ないし７９のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

８２．　圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、

前記圧電素子の上下に積層され、導体から形成される補強部を備え、

THIS PAGE BLANK (USPTO)

前記補強部を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする圧電アクチュエータ。

８３．　圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、

支持体と、

導電体から形成され、前記圧電素子を前記支持体に支持する支持部材とを備え、

前記支持部材を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする圧電アクチュエータ。

８４．　圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、

前記圧電素子の上下面にそれぞれ接触して前記圧電素子を挟み込む弾性導電体を備え、

前記弾性導電体を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする圧電アクチュエータ。

８５．　圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧アクチュエータであって、

前記圧電素子の周囲に接触しながら巻き付けられる導線を備え、

前記導線を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする圧電アクチュエータ。

８６．　請求項１ないし８５のいずれかに記載の圧電アクチュエータと、

前記圧電アクチュエータによって回転駆動されるリング状のカレンダー表示車と

を具備することを特徴とする時計。

８７．　請求項１ないし８５のいずれかに記載の圧電アクチュエータと、

THIS PAGE BLANK (USPTO)

前記圧電アクチュエータに電力を供給する電池と

を具備することを特徴とする携帯機器。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 1

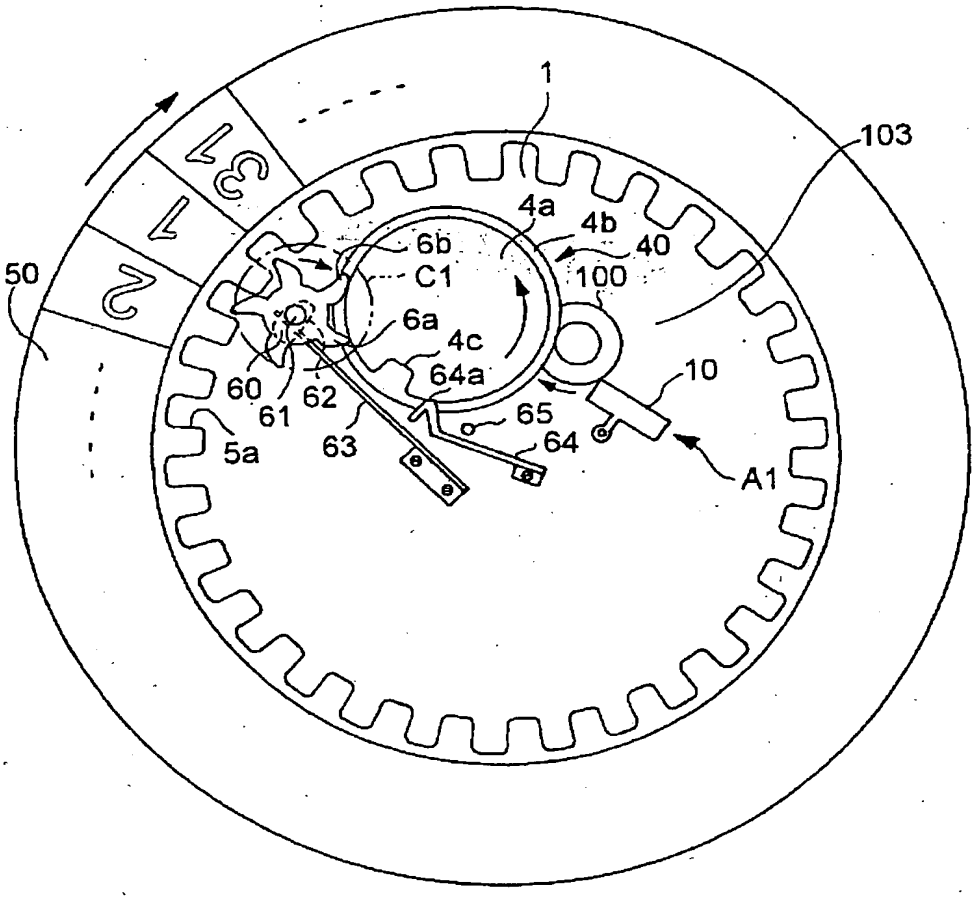
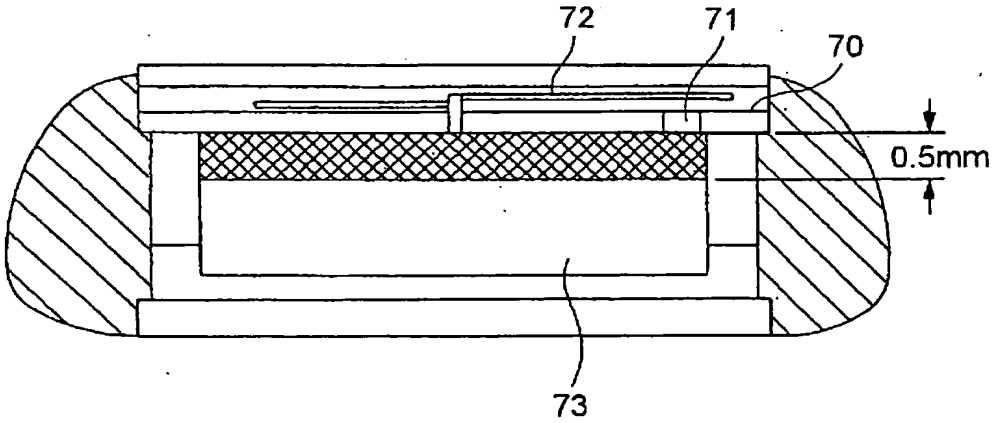
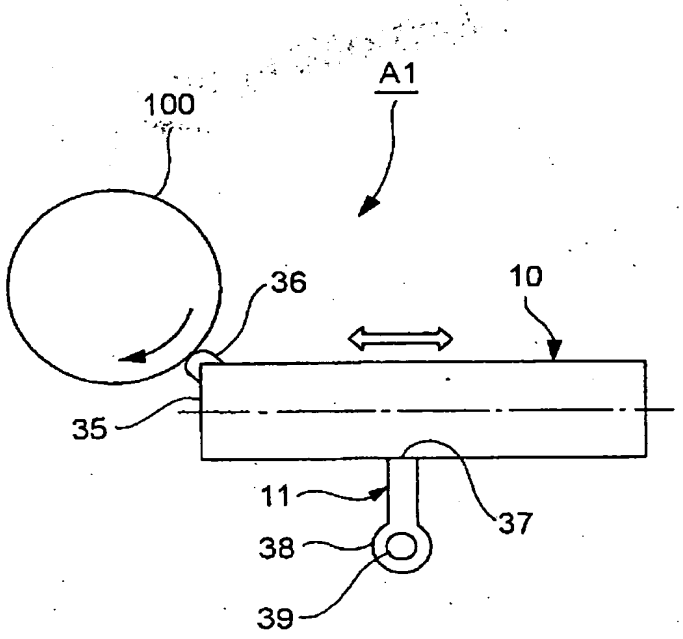

1
103
4a
4b
40
6b
C1
100
50
6a
4c
64a
10
60
61
62
65
5a
63
64
A1

図 2


72
71
70
0.5mm
73

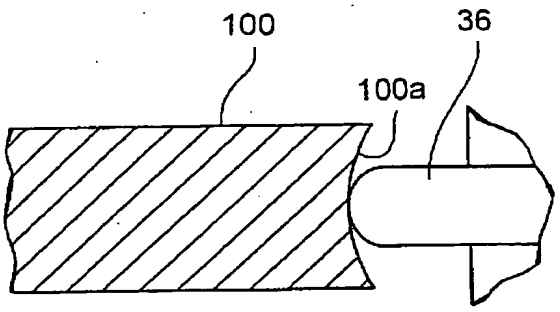
THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 3

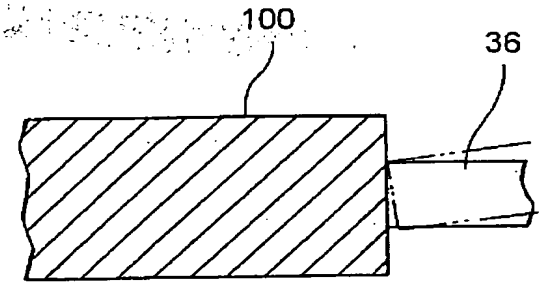


THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 4

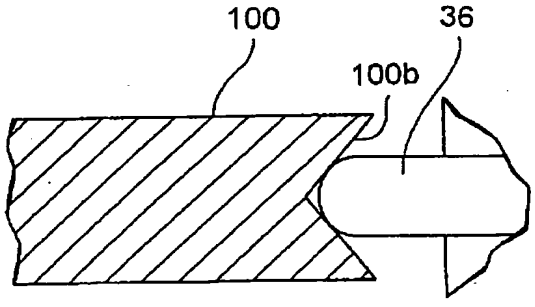


(a)



(b)

図 5



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 6

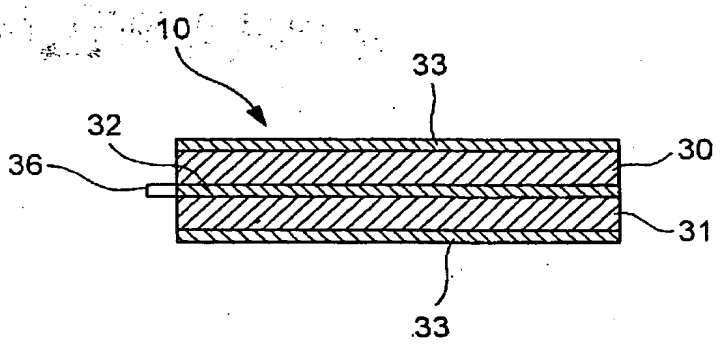
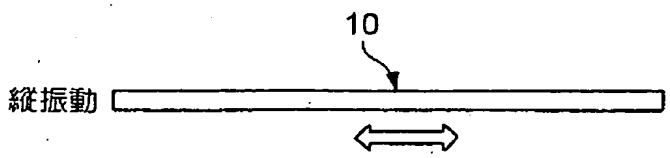


図 7



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 8

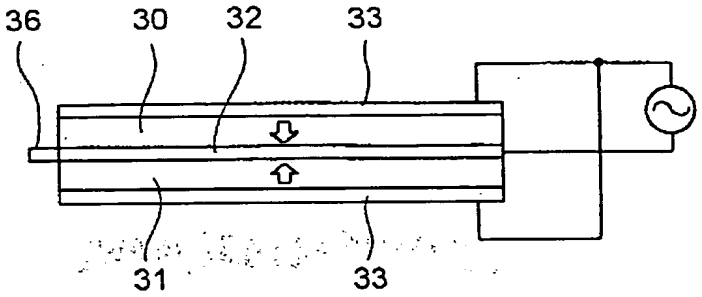


図 9

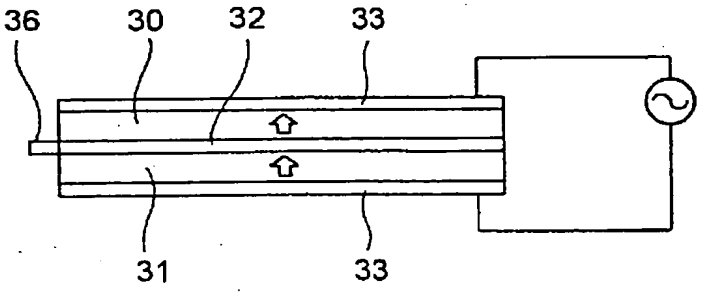
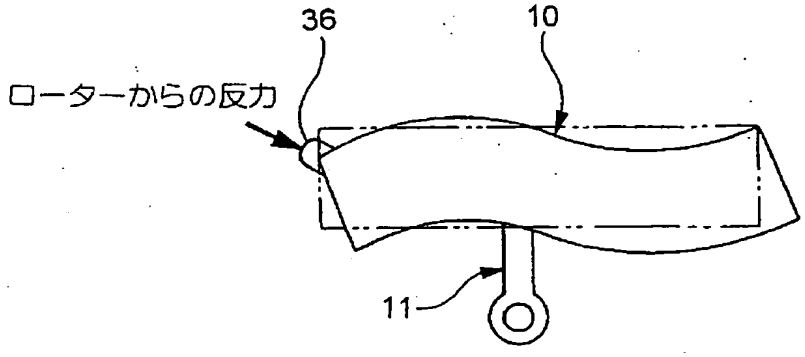


図 10



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 11

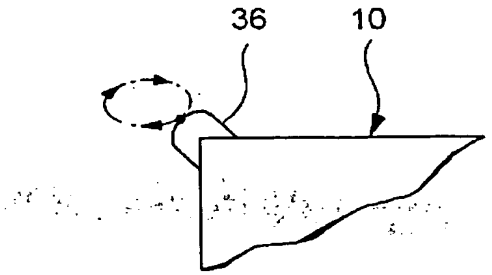
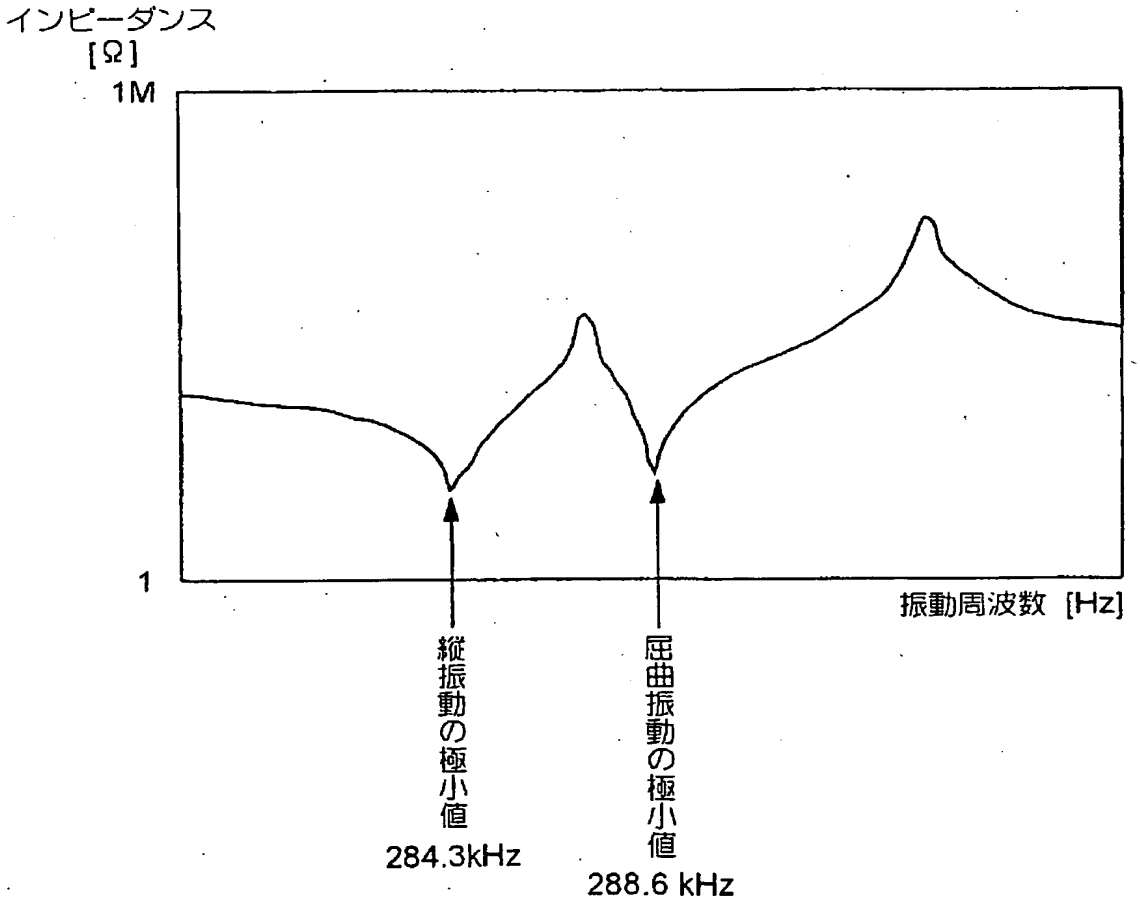

36
10

図 12


インピーダンス
[Ω]
1M
1
振動周波数 [Hz]
縦振動の極小値
284.3kHz
屈曲振動の極小値
288.6 kHz

THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 13

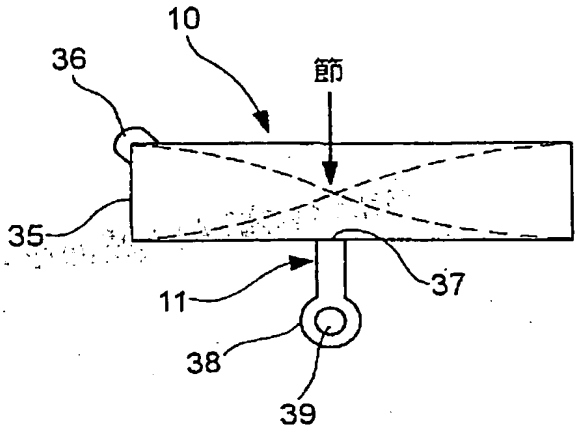
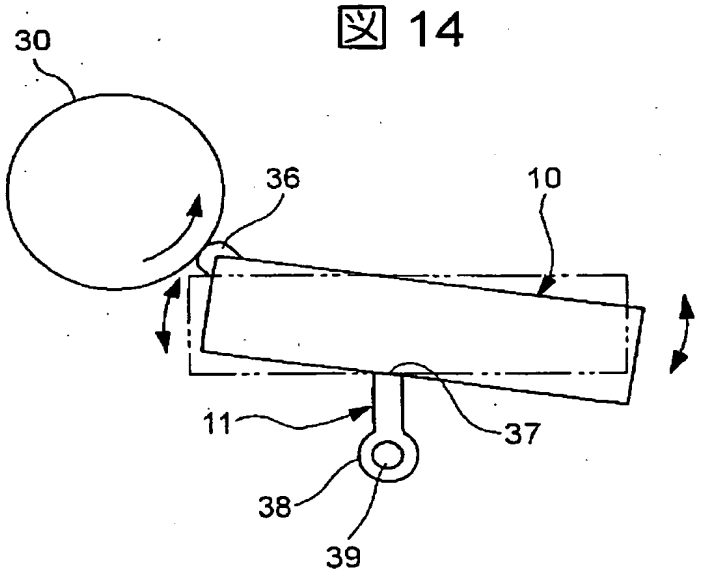


図 14



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 15

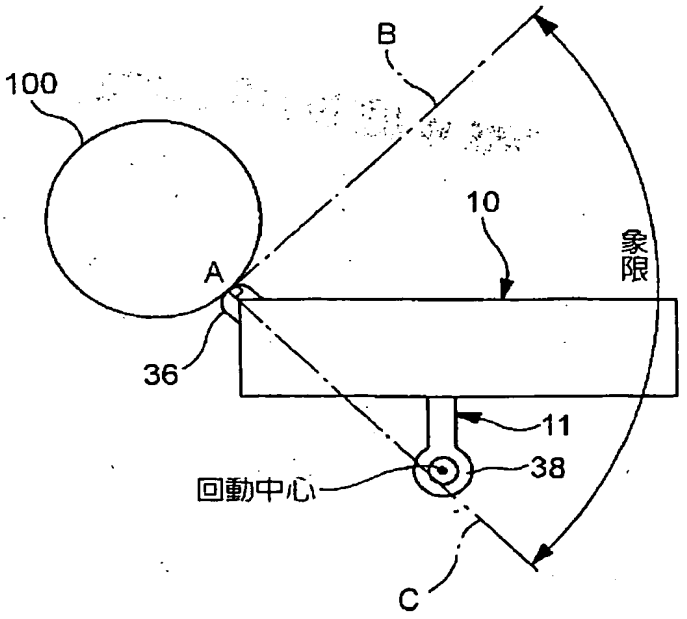
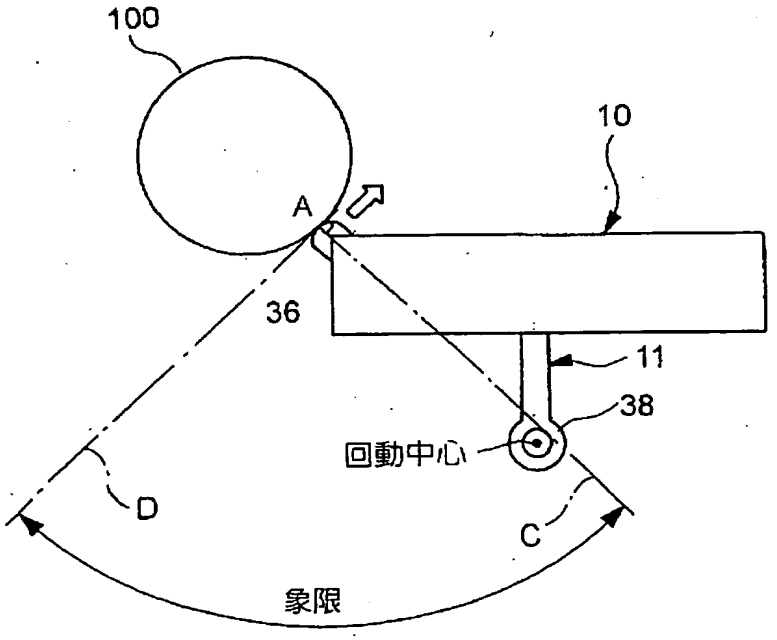
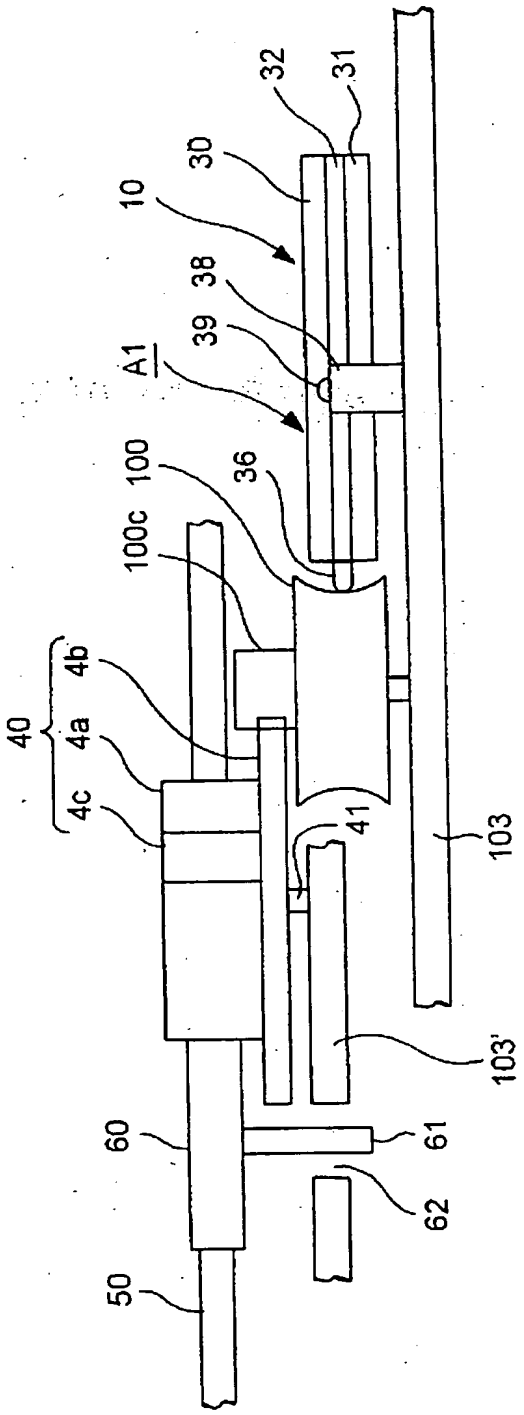


図 16



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図17



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 18

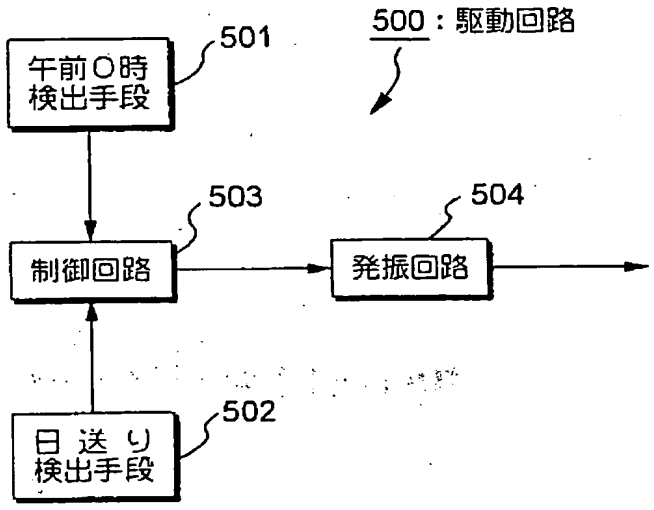
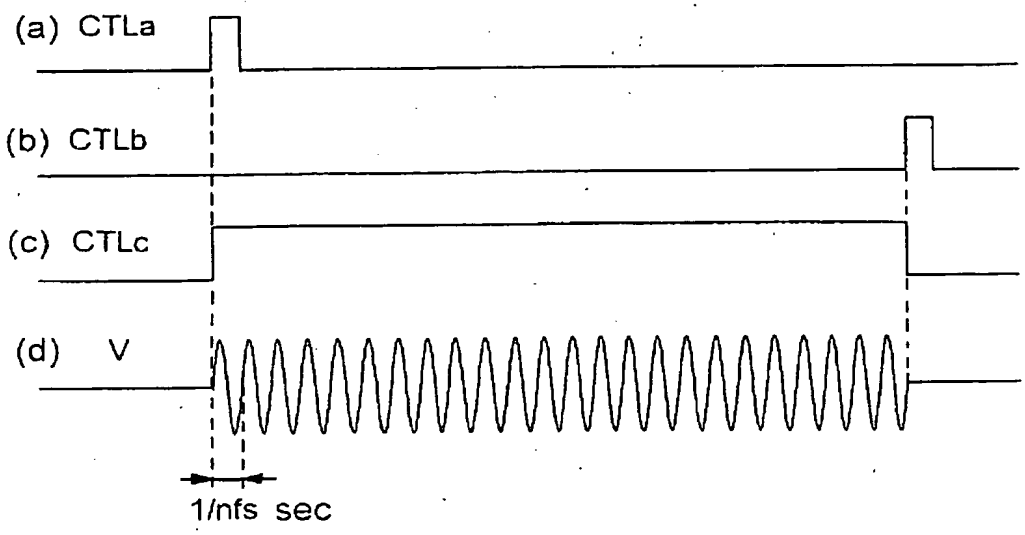

500：駆動回路
501
午前0時
検出手段
503
制御回路
504
発振回路
502
日送り
検出手段

図 19


(a) CTLa
(b) CTLb
(c) CTLc
(d) V
1/nfs sec

THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 20

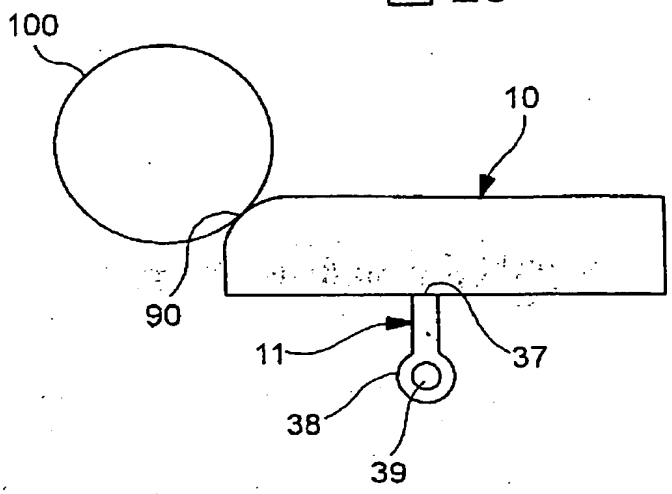


図 21

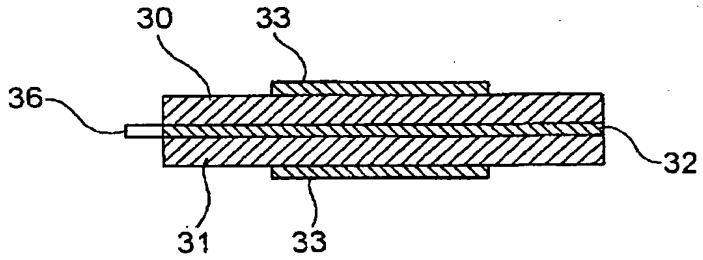
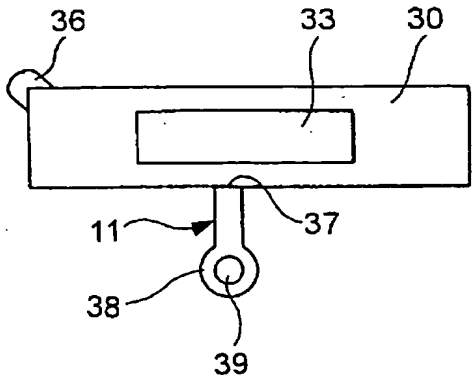


図 22



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 23

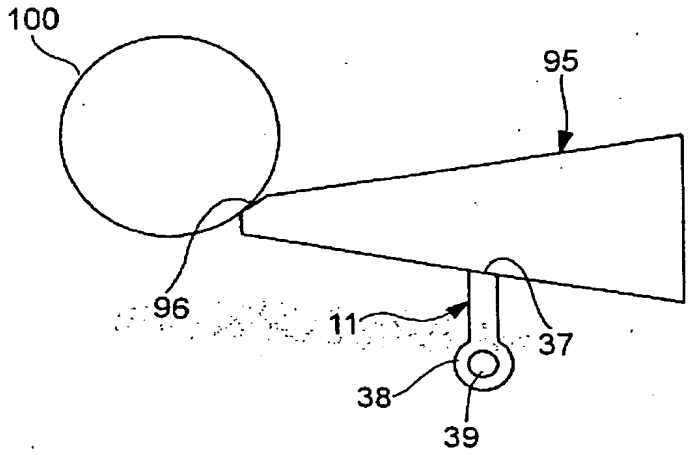


図 24

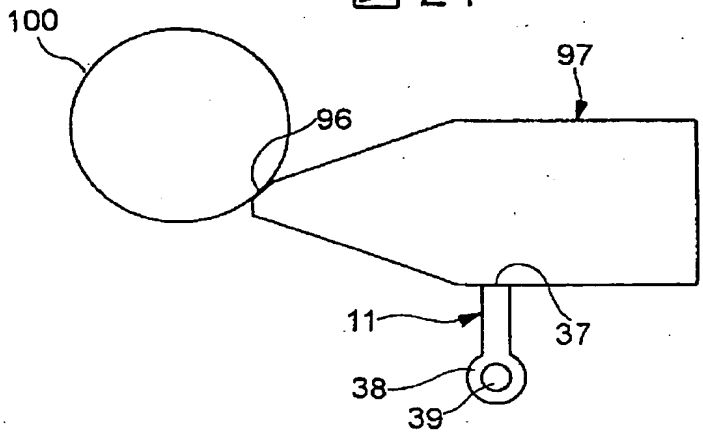
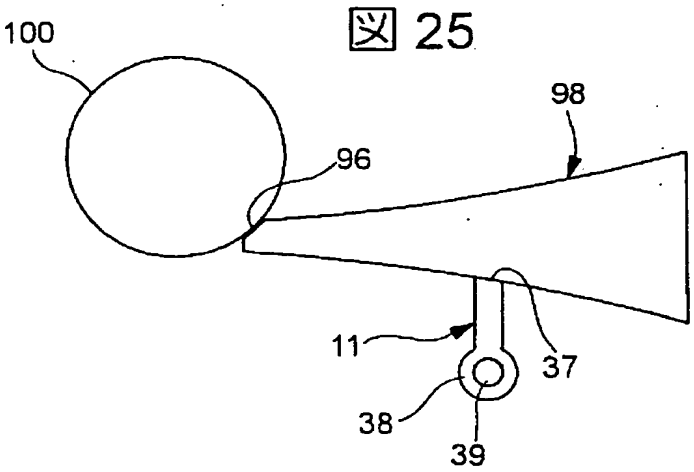


図 25



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 26

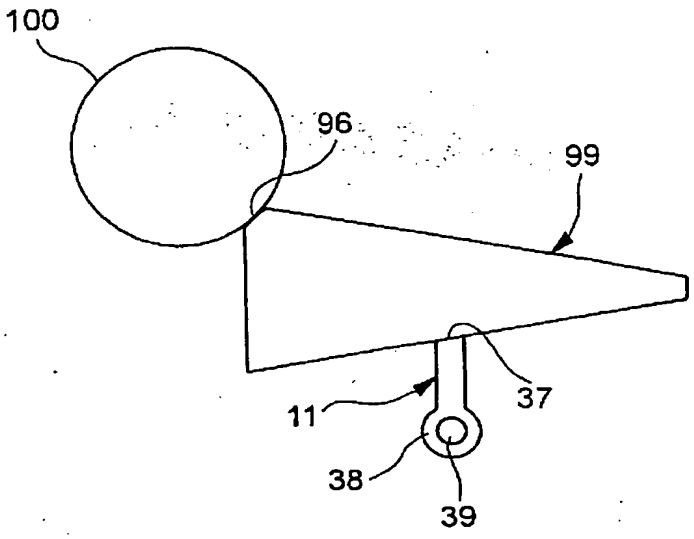
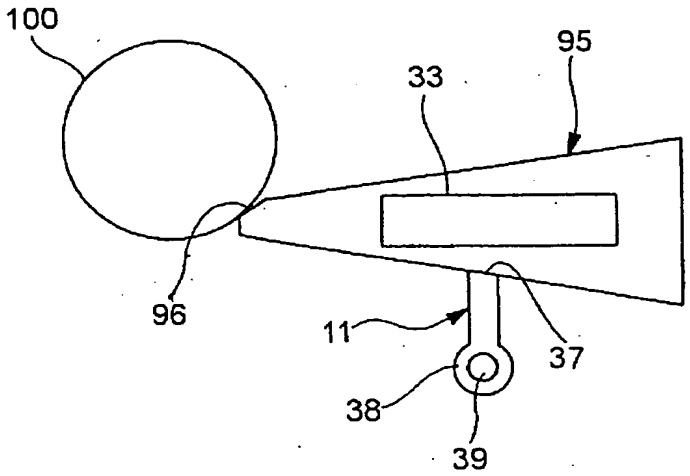


図 27



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 28

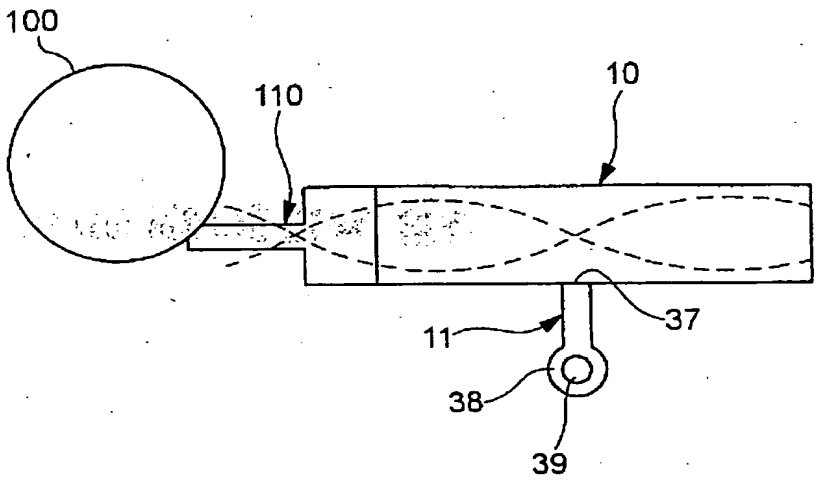
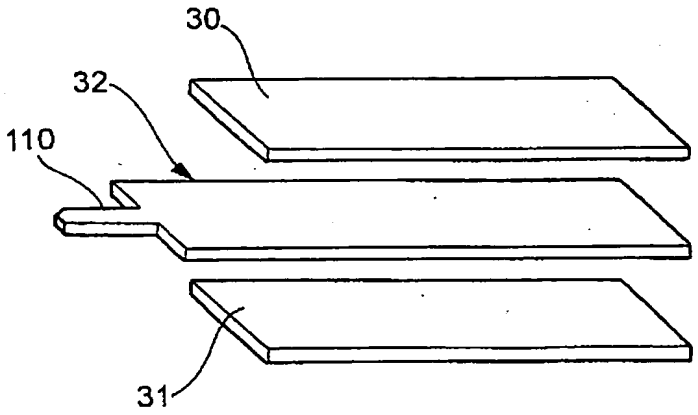


図 29



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 30

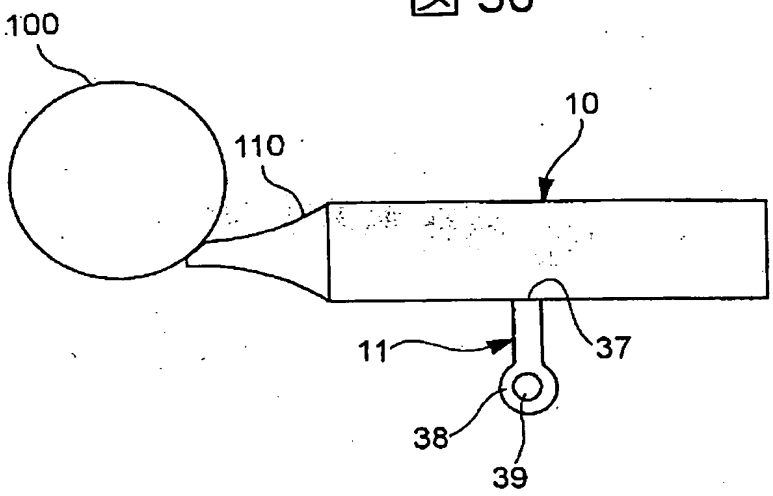
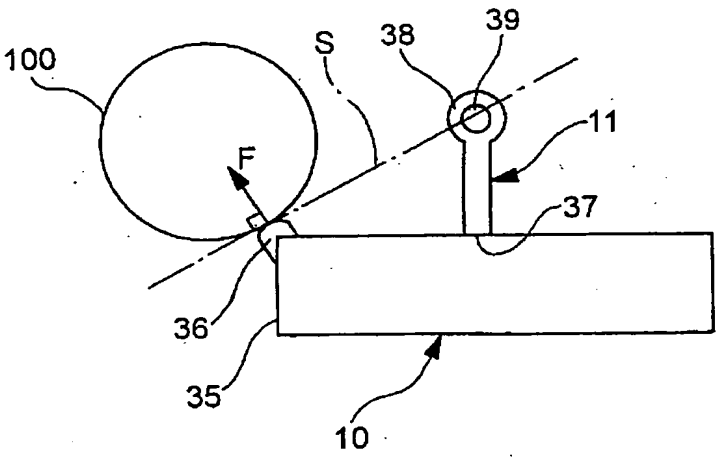


図 31



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 32

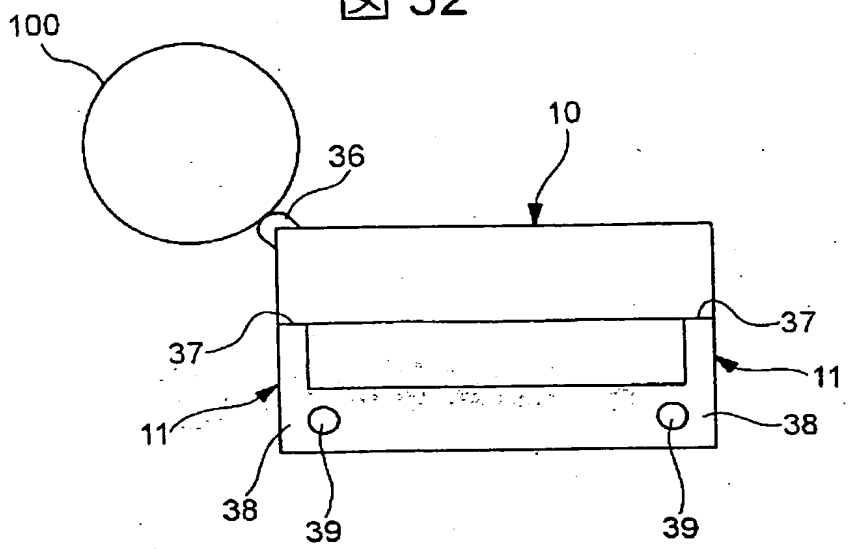
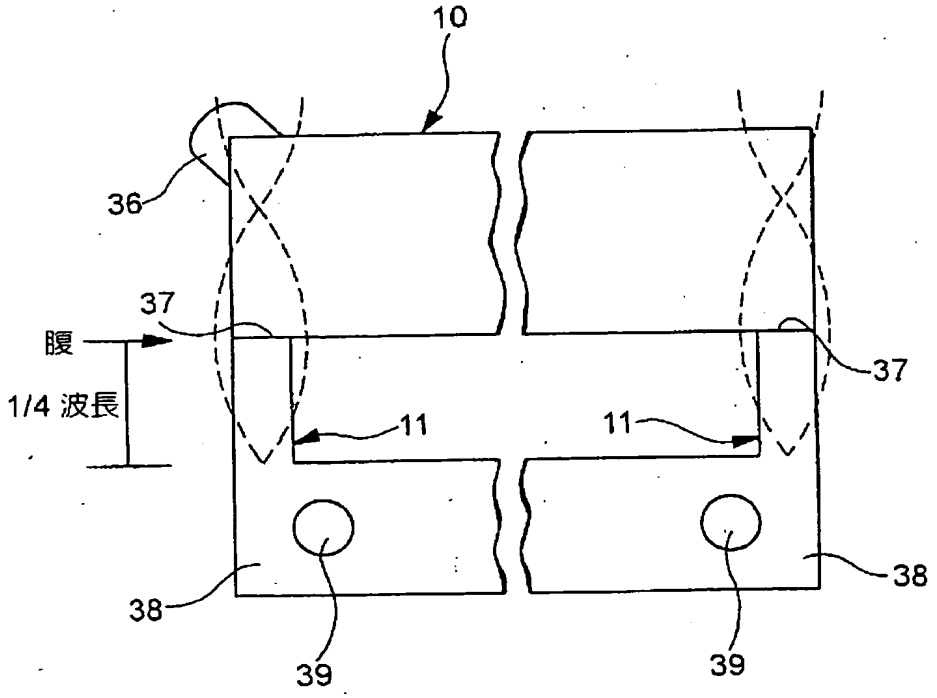


図 33



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 34

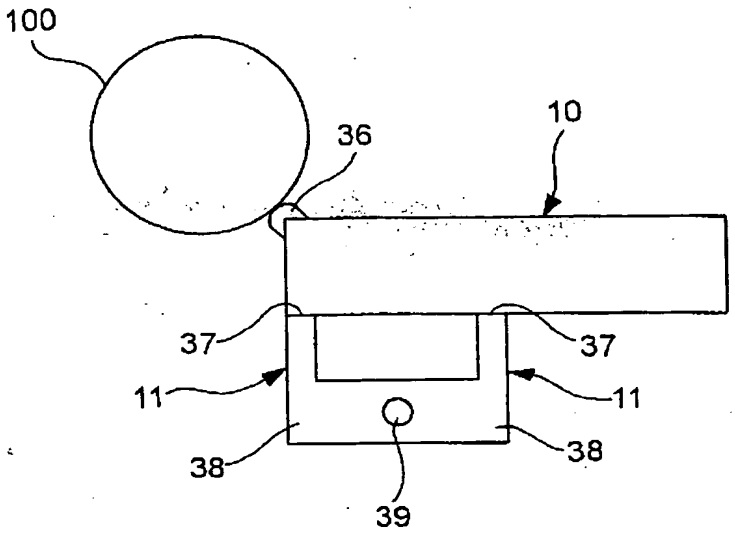
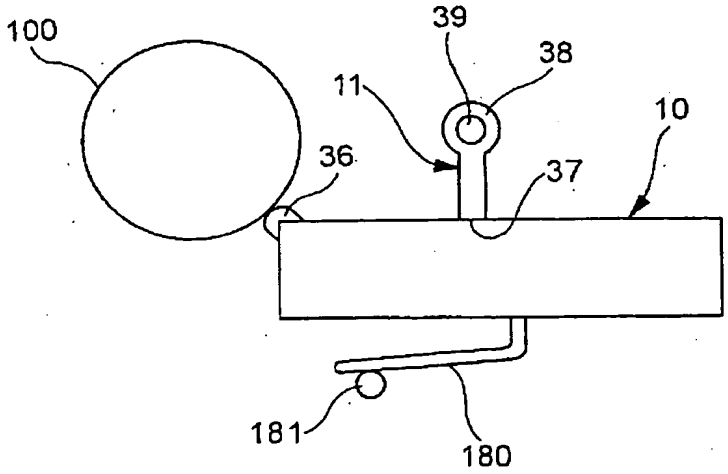


図 35



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 36

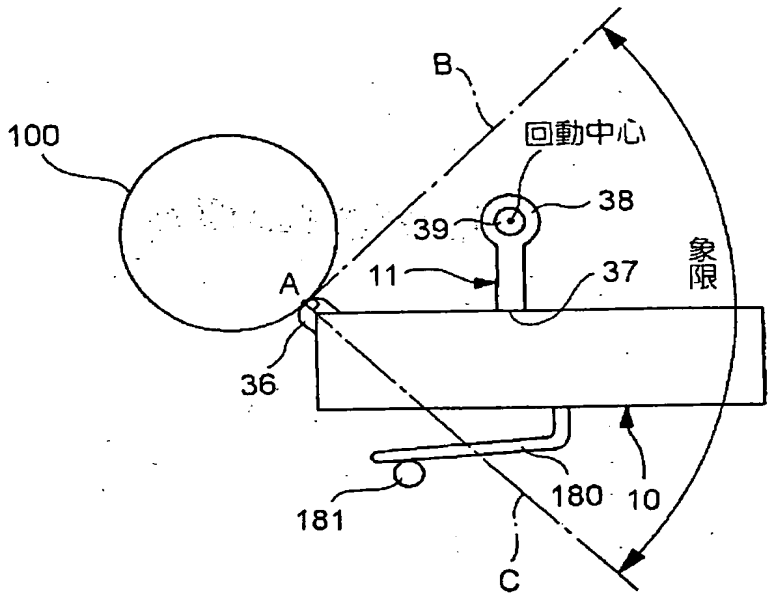
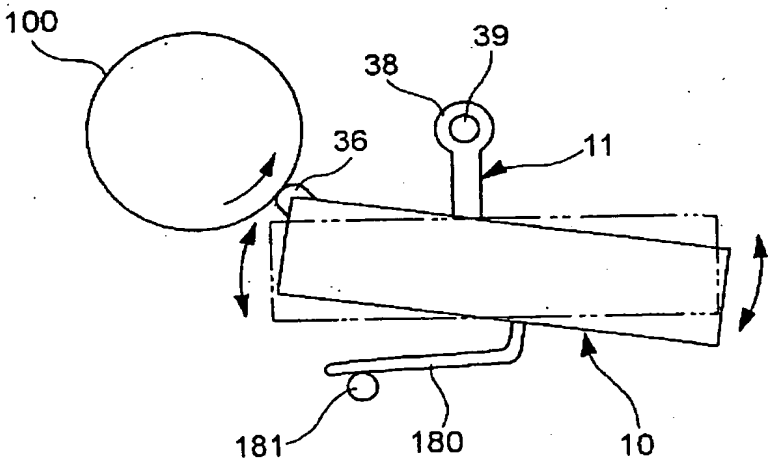


図 37



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 38

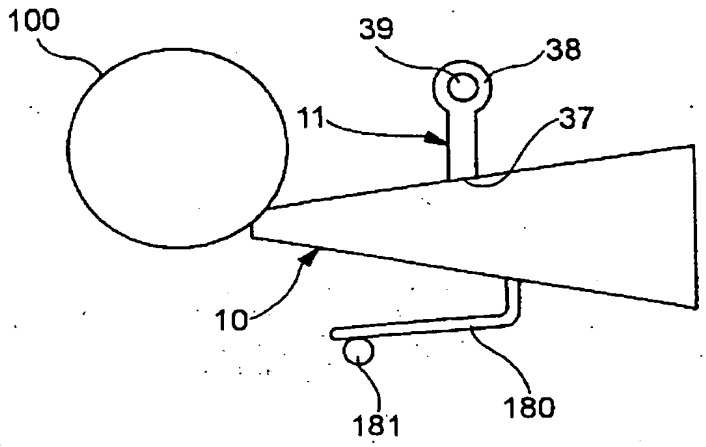
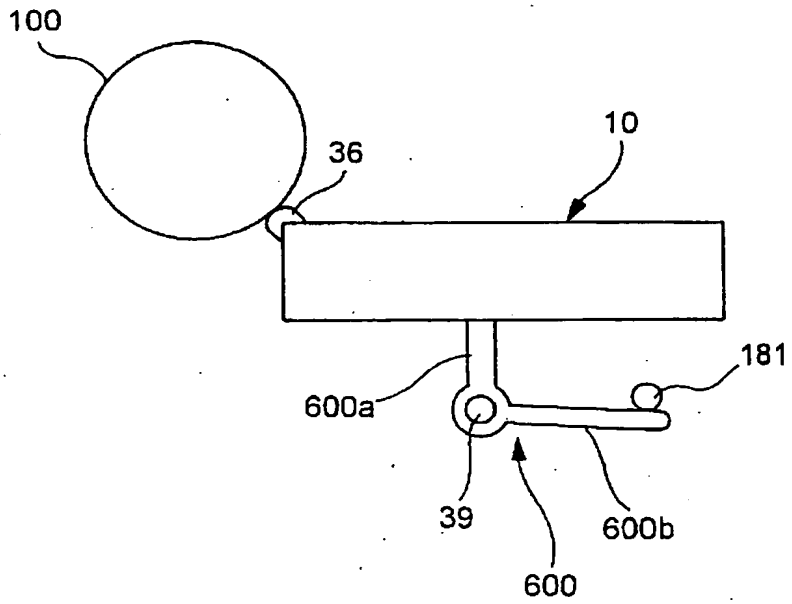
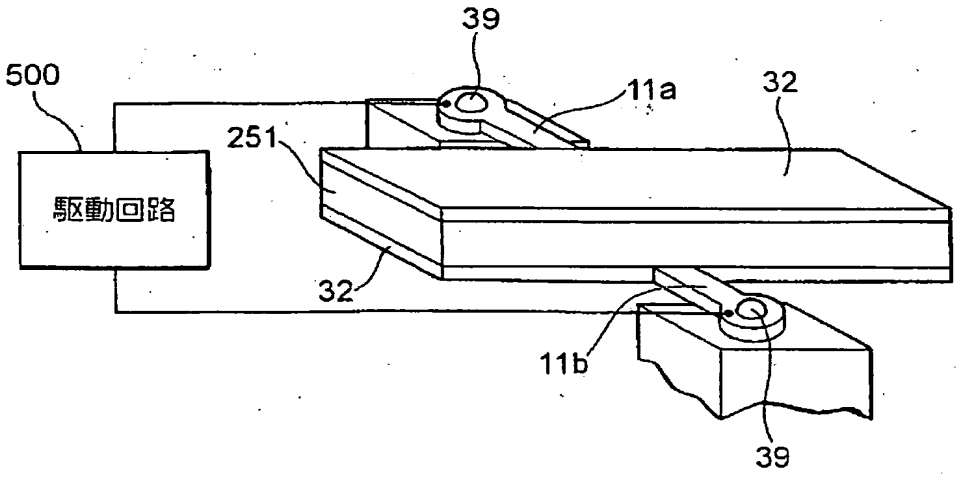


図 39



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 40



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 41

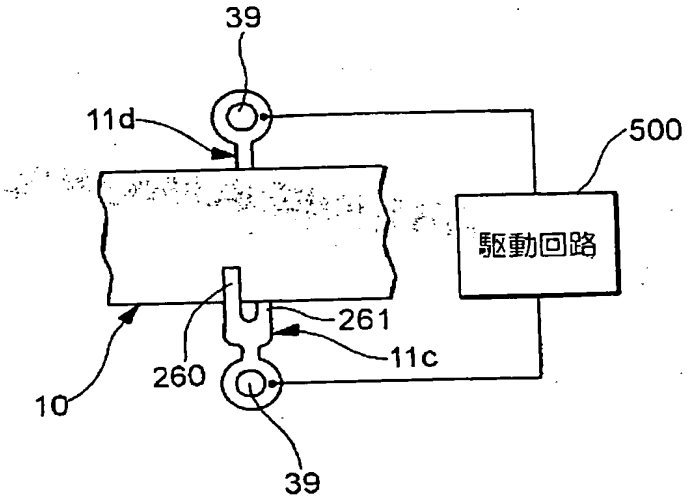
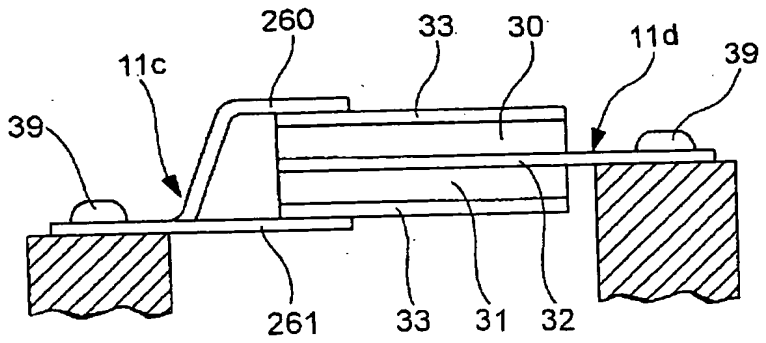

39
11d
500
駆動回路
261
11c
260
10
39

図 42


260
33
30
11d
39
11c
39
261
33
31
32

THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 43

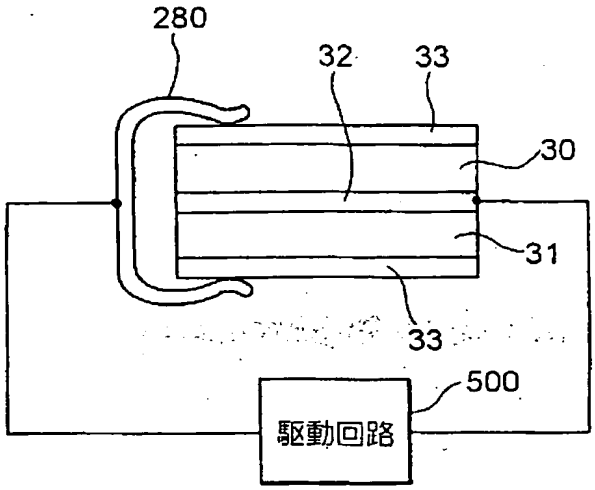


図 44

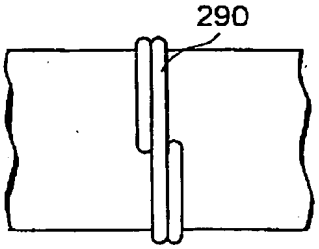
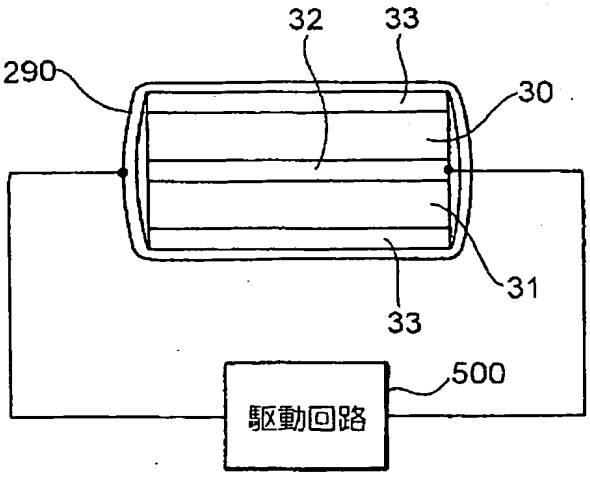


図 45



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 46

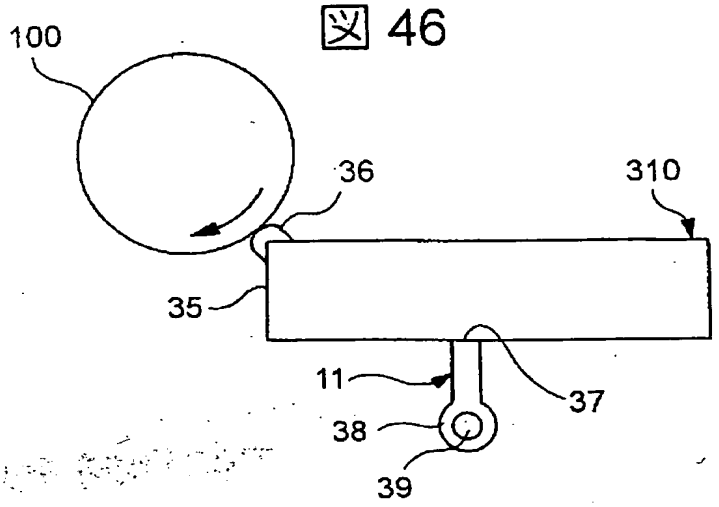

100
36
310
35
11
37
38
39

図 47

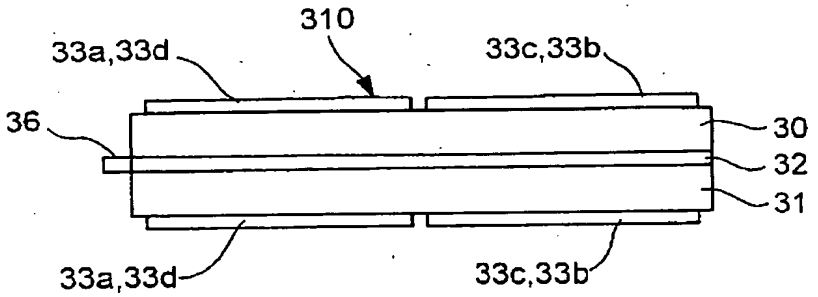
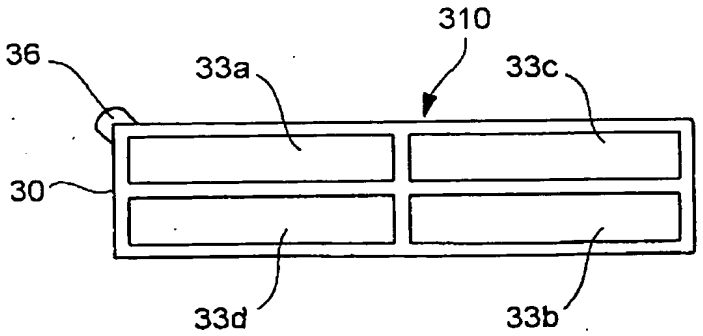

310
33a,33d
33c,33b
36
30
32
31
33a,33d
33c,33b

図 48


310
36
33a
33c
30
33d
33b

THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 49

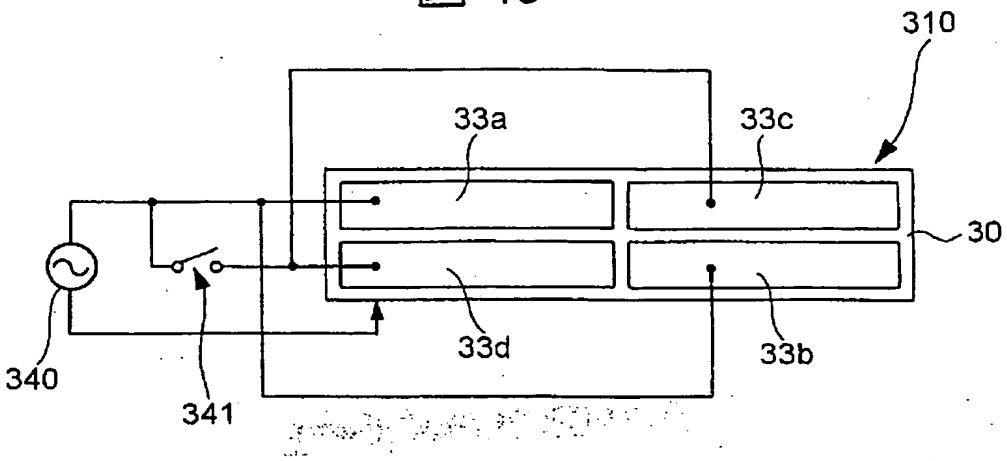
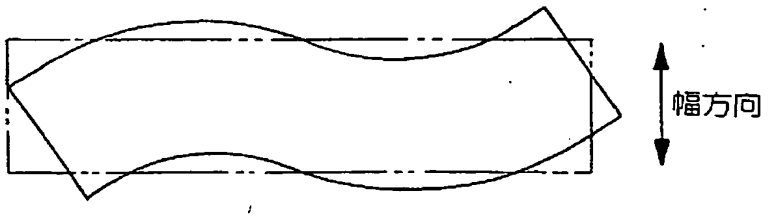


図 50



(a) 縦振動



(b) 屈曲振動

THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 51

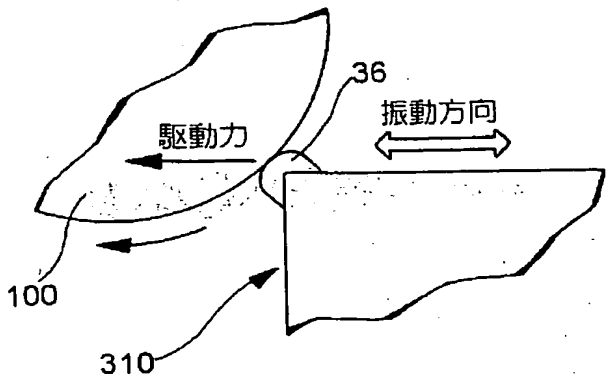
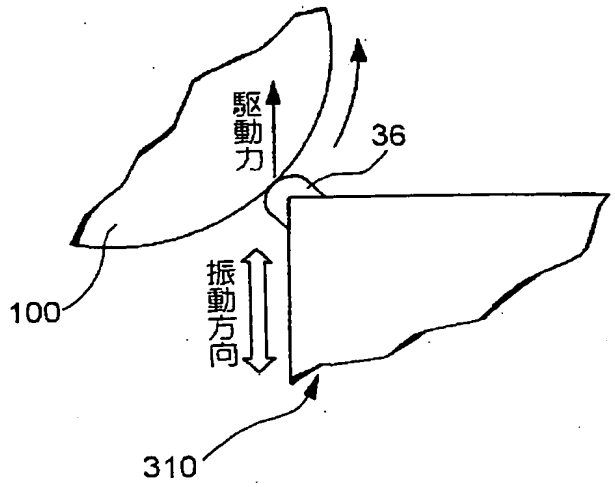
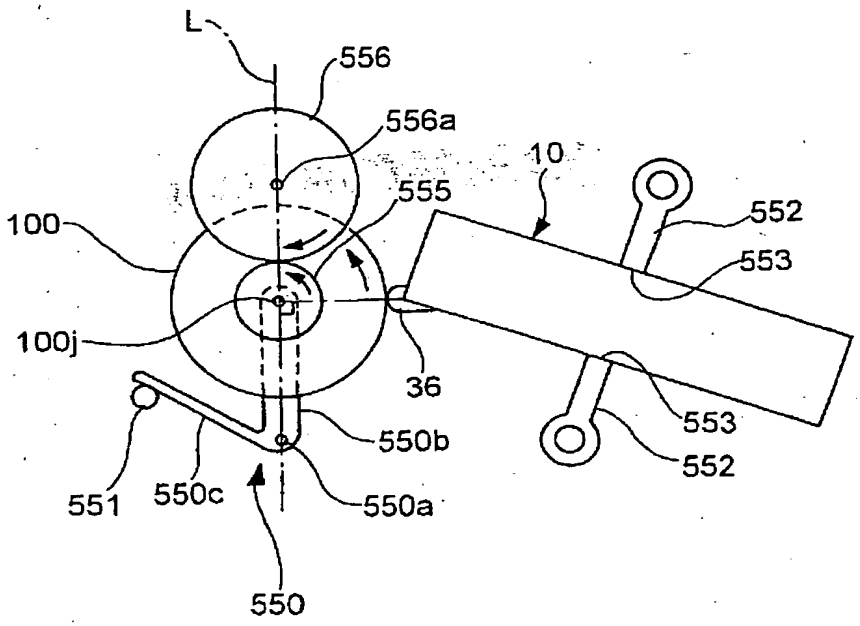


図 52



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 53


L
556
556a
10
555
552
100
553
100j
36
553
550b
552
551
550c
550a
550

THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 54

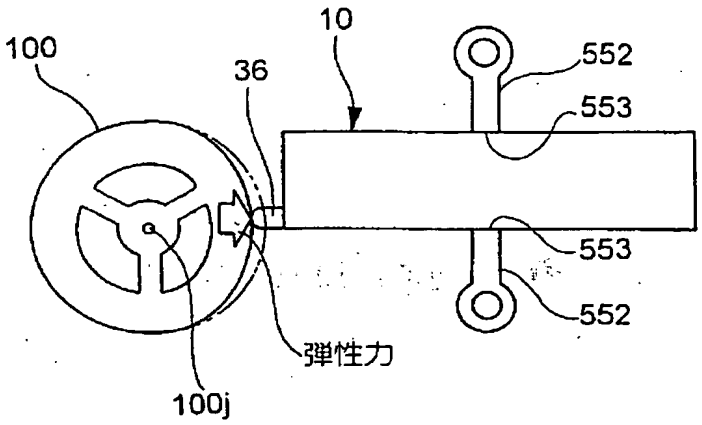
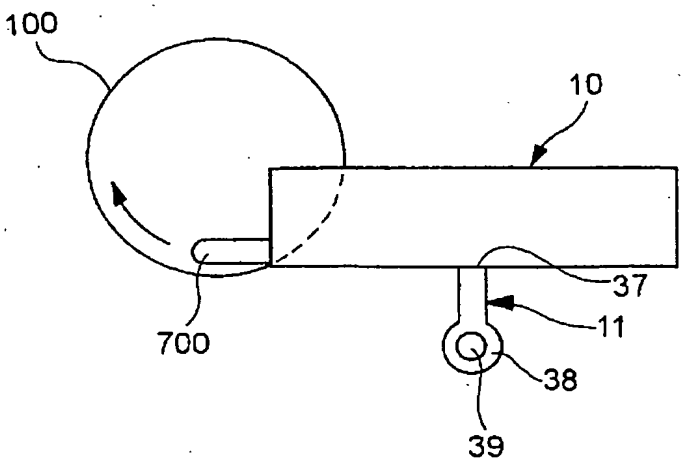


図 55



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 56

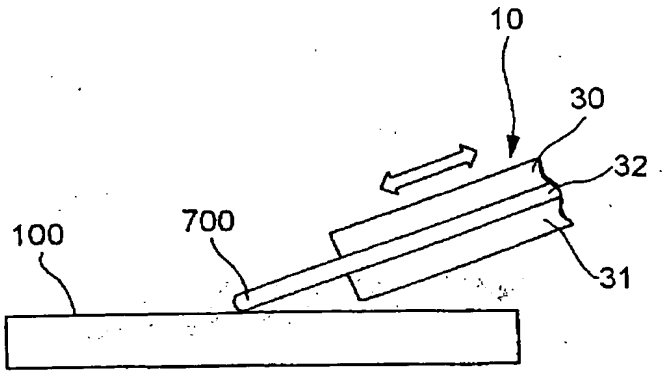
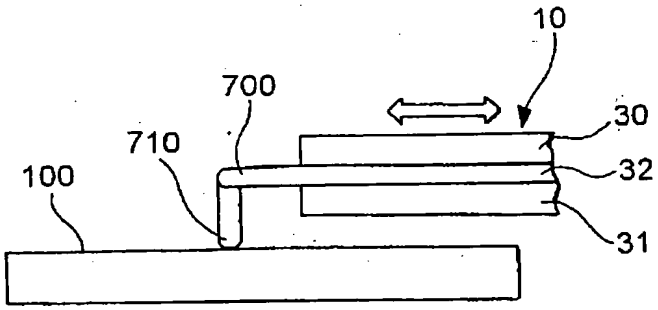


図 57



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 58

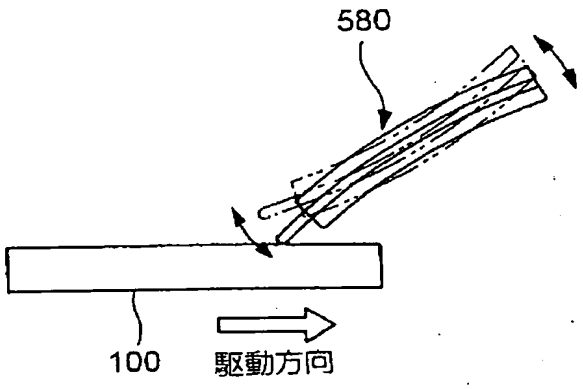
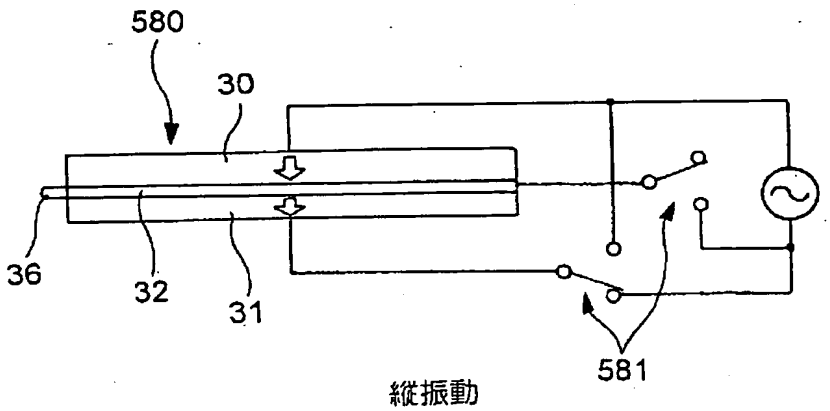
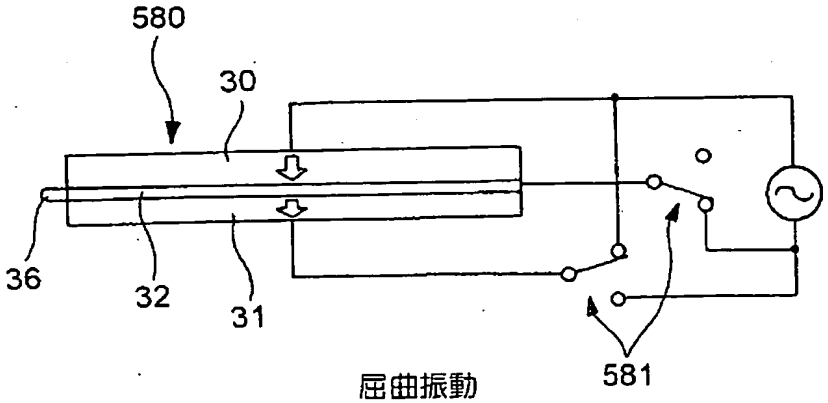


図 59



縦振動



屈曲振動

THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 60

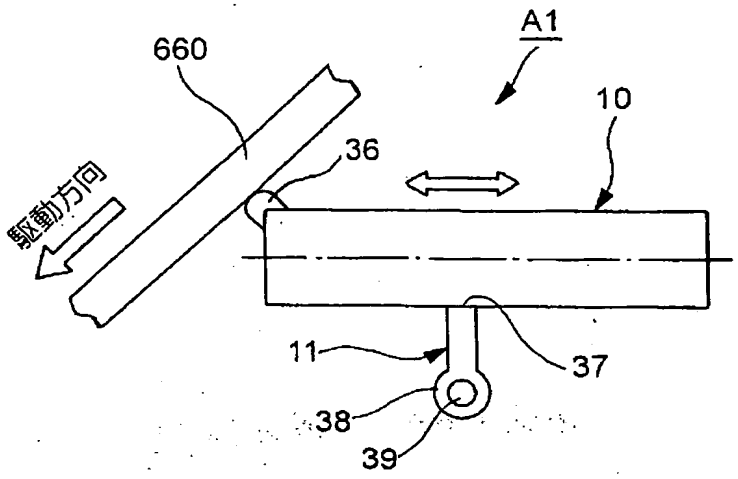
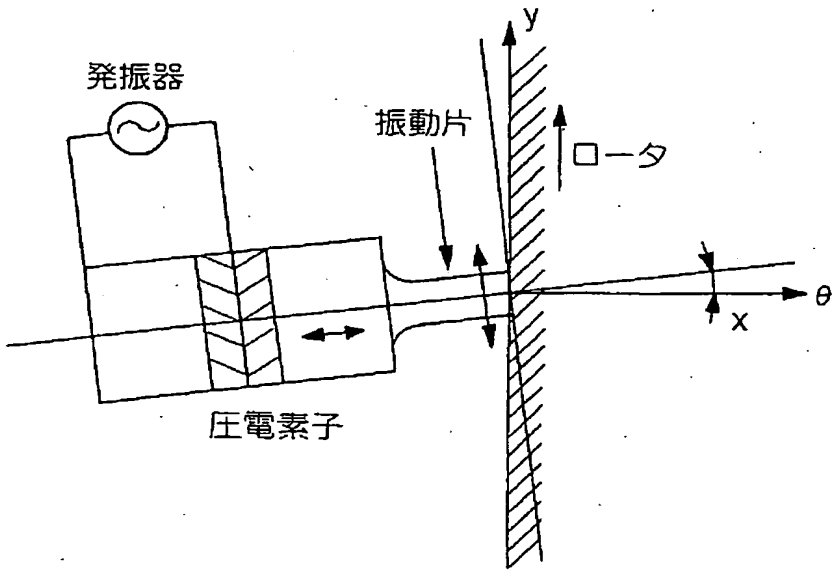


図 61



THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP99/04877

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[6] H02N 2/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl[6] H02N 2/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 62-239876, A (Nippon Soken Inc.), 20 October, 1987 (20.10.87), Full text (Family: none)	1-87
Y	JP, 54-34010, A (Seiko Instr. & Electronics Ltd.), 13 March, 1979 (13.03.79), Full text (Family: none)	1-87
A	JP, 8-275558, A (FANUC LTD), 18 October, 1996 (18.10.96), Full text (Family: none)	7-10,33-40, 64-71
A	JP, 3-11983, A (NEC Corporation), 21 January, 1991 (21.01.91), Full text & JP, 2-847758, B2	13-17,43-47, 53-62
A	JP, 63-118591, U (Casio Computer Co, Ltd.), 01 August, 1988 (01.08.88), Full text (Family: none)	18-21,55-56
A	JP, 10-327589, A (Seiko Instruments Inc.),	26-29,31-32

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
12 October, 1999 (12.10.99)	24 November, 1999 (24.11.99)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP99/04877

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	08 December, 1998 (08.12.98), Full text & EP, 880185, A2	
A	JP, 5-2594, U (OMRON CORPORATION), 14 January, 1993 (14.01.93), Full text (Family: none)	53-77
A	JP, 5-3688, A (OMRON CORPORATION), 08 January, 1993 (08.01.93), Full text (Family: none)	53-77
A	JP, 4-145879, A (OMRON CORPORATION), 19 May, 1992 (19.05.92), Full text (Family: none)	53-77
A	JP, 4-129942, A (OMRON CORPORATION), 30 April, 1992 (30.04.92), Full text (Family: none)	53-77
A	JP, 63-294281, A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 30 November, 1988 (30.11.88), Full text & JP, 3-048517, B4	48-52
EA	JP, 11-52075, A (SEIKO EPSON CORPORATION), 26 February, 1999 (26.02.99), Full text (Family: none)	1-87

THIS PAGE BLANK (USPTO)

国際調査報告

国際出願番号 PCT／JP99／04877

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. Cl⁶ H02N 2／00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int. Cl⁶ H02N 2／00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
日本国実用新案公報 1926－1996
日本国公開実用新案公報1971－1999
日本国登録実用新案公報1994－1999
日本国実用新案登録公報1996－1999

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
Y	JP、62－239876、A（株式会社日本自動車部品総合研究所）、20. 10月. 1987（20. 10. 87）、全頁（ファミリーなし）	1－87
Y	JP、54－34010、A（株式会社第二精工舎）、13. 3月. 1979（13. 03. 79）、全頁（ファミリーなし）	1－87
A	JP、8－275558、A（ファナック株式会社）、18. 10月. 1996（18. 10. 96）、全頁（ファミリーなし）	7－10, 33－40, 64－71

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊ 引用文献のカテゴリー
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 12. 10. 99	国際調査報告の発送日 24.11.99
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA／JP） 郵便番号100－8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 下原 浩嗣 印 3V 9179 電話番号 03－3581－1101 内線 3356

様式PCT／ISA／210（第2ページ）（1998年7月）

THIS PAGE BLANK (USPTO)

国際調査報告

国際出願番号 PCT／JP99／04877

C（続き）． 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
A	JP、 3－11983、A（日本電気株式会社）、21. 1月. 1991（21. 01. 91）、全頁 & JP, 2－847758, B2	13－17, 43－47, 53－62
A	JP、63－118591、U（カシオ計算機株式会社）、1. 8月. 1988（01. 08. 88）、全頁（ファミリーなし）	18－21, 55－56
A	JP, 10－327589、A（セイコーインスツルメンツ株式会社）、8. 12月. 1998（08. 12. 98）、全頁 & EP, 880185, A2	26－29, 31－32
A	JP、 5－2594、U（オムロン株式会社）、14. 1月. 1993（14. 01. 93）、全頁（ファミリーなし）	53－77
A	JP、 5－3688、A（オムロン株式会社）、8. 1. 1993（08. 01. 93）、全頁（ファミリーなし）	53－77
A	JP、 4－145879、A（オムロン株式会社）、19. 5月. 1992（19. 05. 92）、全頁（ファミリーなし）	53－77
A	JP、 4－129942、A（オムロン株式会社）、30. 4月. 1992（30. 04. 92）、全頁（ファミリーなし）	53－77
A	JP、63－294281、A（松下電工株式会社）、30. 11月. 1988（30. 11. 88）、全頁 & JP, 3－048517, B4	48－52
EA	JP、11－52075、A（セイコーエプソン株式会社）、26. 2月. 1999（26. 02. 99）、全頁（ファミリーなし）	1－87

THIS PAGE BLANK (USPTO)

DESCRIPTION

PIEZOELECTRIC ACTUATOR, TIMEPIECE, AND PORTABLE DEVICE

Technical Field

The present invention relates to a piezoelectric actuator, and to a timepiece and a portable device including the piezoelectric actuator.

Background Art

Since piezoelectric elements have excellent responsiveness and conversion efficiency from electrical energy to mechanical energy, various types of piezoelectric actuators utilizing the piezoelectric effect of piezoelectric elements have been developed in recent years. The piezoelectric actuators have been applied to the fields of piezoelectric buzzers, ink-jet heads of printers, and ultrasonic motors.

Fig. 61 is a plan view schematically showing an ultrasonic motor using a conventional piezoelectric actuator. As shown in the figure, the ultrasonic motor of this type is called a poking type in which a rotor surface is slightly inclined and brought into contact with a tip of a vibrating piece connected to a piezoelectric element. In such a

construction, when the piezoelectric element is expanded and contracted by an alternating voltage from an oscillator, and the vibrating piece reciprocates in a longitudinal direction, a force component is generated in a circumferential direction of the rotor and the rotor is rotated.

In addition, a technique has been known in which two ultrasonic vibrators (piezoelectric elements) are included, the ultrasonic vibrators vibrate with their own electrical resonance frequencies, and a vibrating piece is displaced by the vibration (Japanese Unexamined Application Publication No. 10-25151).

However, while the displacement of the piezoelectric element depends on the applied voltage, it is very small, usually about sub-micron, and this also applies to a case where the piezoelectric element vibrates with the above-described resonance frequency. For this reason, the displacement is amplified by a certain amplification mechanism, and is transmitted to the rotor. When the amplification mechanism is used, however, energy is consumed to operate the amplification mechanism, efficiency is lowered, and the size of an apparatus increases. In addition, when the amplification mechanism is used, it may be difficult to stably transmit a driving force to the rotor.

In addition, since a small portable device, such as a wristwatch, is driven by a battery, it is necessary to lower

the power consumption and the drive voltage. Therefore, when a piezoelectric actuator is incorporated into such a portable device, it is particularly required that the energy efficiency be high and the drive voltage be low.

Incidentally, in a calendar display mechanism for displaying the date, the day, and so forth in a timepiece or the like, it is common for the rotational driving force from an electromagnetic stepping motor to be intermittently transmitted to a date indicator or the like via a watch-hand-driving wheel train so as to advance the date indicator or the like. On the other hand, since the wristwatch is carried by being strapped on a wrist, a reduction in thickness for convenience of carrying has long been demanded. In order to pursue the reduction in thickness, it is also necessary to reduce the thickness of the calendar display mechanism. However, since the stepping motor is constructed by incorporating parts, such as a coil and a rotor, thereinto in an out-of-plane direction, the reduction in thickness of the calendar display mechanism is limited. For this reason, there is a problem in that the conventional calendar mechanism using the stepping motor is not structurally suited for reducing the thickness.

In particular, in order to share a mechanical system (a so-called movement) between a timepiece with a calendar display mechanism and a timepiece without such a display

mechanism, it is necessary to construct the calendar display mechanism on the side of a dial. However, it is difficult for an electromagnetic stepping motor to achieve a reduction in thickness to such an extent that the calendar mechanism can be constructed on the side of the dial. Therefore, it is necessary for a conventional timepiece to be manufactured by separately designing watch-hand-driving mechanical systems according to whether there is a display mechanism, and this becomes a problem when improving the productivity thereof.

The present invention is made in consideration of the foregoing circumstances, and an object is to provide a piezoelectric actuator that facilitates a reduction in size by simplifying conductive construction, and to provide a timepiece and a portable device including the same. In addition, it is an object to provide a piezoelectric actuator that is able to efficiently transmit vibrations of a piezoelectric element, that is suited for a reduction in size and thickness, and that is able to stably transmit a driving force, and to provide a timepiece and a portable device including the same.

Disclosure of Invention

According to the present invention, there is provided a

piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; and a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against an object to be driven; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that the longitudinal end of the vibrating plate abuts against an object to be driven; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating

plate is vibrated by the vibration, and the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis; and a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that the longitudinal end of the vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; and a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts

against the outer peripheral surface of the rotor; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that the longitudinal end of the vibrating plate abuts against the outer peripheral surface of the rotor; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, rotationally supported on the base frame, a rotating shaft thereof being movable; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the rotor so that the outer peripheral surface of the rotor abuts against the longitudinal end of the vibrating plate; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; and a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; wherein the rotor is formed of an elastic body arranged on a position where the

outer peripheral surface thereof abuts against the longitudinal end of the vibrating plate, and presses the outer peripheral surface against the end of the vibrating plate by the elastic force thereof; and wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; and a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against an object to be driven; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the

selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the object to be driven is driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating

plate abuts against an object to be driven; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the object to be driven is driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis; a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the out-of-plane direction; and a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting

portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis; a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for

vibrating the vibrating plate in the out-of-plane direction; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating

plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; and a support member, which is an elastic member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the outer peripheral surface of the rotor; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally

supported on the base frame; a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the outer peripheral surface of the rotor; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, rotationally supported on the base frame, a rotating shaft thereof being movable; a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the rotor so that the outer peripheral surface of the rotor abuts against a longitudinal end of the vibrating plate; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in

accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; and a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; wherein the rotor is formed of an elastic body arranged on the position where the outer peripheral surface thereof abuts against a longitudinal end of the vibrating plate, and presses the outer peripheral surface against the end of the vibrating plate by the elastic force thereof; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the

vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

From another standpoint, according to the present invention, there is provided a piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element; the piezoelectric actuator comprising reinforcing portions stacked on the upper and lower sides of the piezoelectric element; wherein power is supplied to the piezoelectric element via the reinforcing portions.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element; the piezoelectric actuator comprising: a base frame; and a support member formed of a conductive material, and supporting the piezoelectric element on the base frame; wherein power is supplied to the piezoelectric element via the support member.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator having a piezoelectric

element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element; the piezoelectric actuator comprising an elastic conductive material contacting the upper and lower surfaces of the vibrating plate to clamp the vibrating plate; wherein power is supplied to the piezoelectric element via the elastic conductive material.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element; the piezoelectric actuator comprising a wire wound around the vibrating plate while being in contact therewith; wherein power is supplied to the piezoelectric element via the wire.

In addition, according to the present invention, there is provided a timepiece comprising: a piezoelectric actuator in any one of the above forms; and a ring-shaped calendar display wheel rotationally driven by the piezoelectric actuator.

Furthermore, according to the present invention, there is provided a portable device comprising: a piezoelectric actuator in any one of the above forms; and a battery for supplying power to the piezoelectric actuator.

Brief Description of the Drawings

Fig. 1 is a plan view of the principal construction of

a calendar display mechanism having a piezoelectric actuator incorporated therein in a timepiece according to a first embodiment of the present invention.

Fig. 2 is a sectional side elevation schematically showing the construction of the timepiece according to the embodiment.

Fig. 3 is a plan view showing the overall construction of the piezoelectric actuator.

Fig. 4 includes diagrams for explaining a sectional contact state between a rotor and a projection that are components of the piezoelectric actuator.

Fig. 5 is a diagram for explaining another example of the sectional contact state between the rotor and the projection of the piezoelectric actuator.

Fig. 6 is a sectional side elevation showing a vibrating plate that is a component of the piezoelectric actuator.

Fig. 7 is a diagram showing a state in which the vibrating plate causes a longitudinal vibration.

Fig. 8 is a block diagram showing the outline of the construction for supplying electric power to a piezoelectric element of the vibrating plate.

Fig. 9 is a block diagram showing the outline of another construction for supplying electric power to the piezoelectric element of the vibrating plate.

Fig. 10 is a diagram for explaining a state in which, when the vibrating plate vibrates, it causes a bending vibration by a reaction force from the rotor.

Fig. 11 is a diagram for explaining the orbit of the projection during the bending vibration.

Fig. 12 is a graph showing an example of the relationship between vibration frequency and impedance of the vibrating plate.

Fig. 13 is a diagram for explaining the amplitude of the vibrating plate during the bending vibration.

Fig. 14 is a diagram for explaining the operation of the vibrating plate when the rotor is to be rotated in a reverse direction.

Fig. 15 is a diagram for explaining the position of the center of rotation of a support member for rotationally supporting the vibrating plate.

Fig. 16 is a diagram for explaining another example of the position of the center of rotation of the support member for rotationally supporting the vibrating plate.

Fig. 17 is a sectional side elevation showing a principal construction of the calendar display mechanism.

Fig. 18 is a block diagram showing the construction of a driving circuit of the calendar display mechanism.

Fig. 19 is a timing chart showing the operation of the driving circuit.

Fig. 20 is a plan view showing a first modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 21 is a sectional side elevation of a vibrating plate of a second modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 22 is a plan view showing another example of the vibrating plate of the second modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 23 is a plan view showing a third modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 24 is a plan view showing another example of a vibrating plate of the third modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 25 is a plan view showing still another example of the vibrating plate of the third modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 26 is a diagram showing a further example of the vibrating plate of the third modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 27 is a diagram showing a still further example of the vibrating plate of the third modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 28 is a plan view showing a fourth modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 29 is a diagram showing a manufacturing method of a vibrating plate of the fourth modification.

Fig. 30 is a plan view showing another example of the fourth modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 31 is a plan view showing a fifth modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 32 is a plan view showing a sixth modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 33 is a diagram for explaining the amplitude of a support member of the sixth modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 34 is a plan view showing another example of the sixth modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 35 is a plan view showing a seventh modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 36 is a diagram for explaining the position of the center of rotation of a support member for rotationally supporting a vibrating plate of the seventh modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 37 is a diagram for explaining the operation of the vibrating plate when the rotor is to be rotated in the reverse direction in the seventh modification.

Fig. 38 is a plan view showing another example of the seventh modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 39 is a plan view showing a further modification of the seventh modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 40 is a diagram showing a conductive construction

for supplying a drive voltage to the piezoelectric actuator.

Fig. 41 is a diagram showing a modification of the conductive construction for supplying the drive voltage to the piezoelectric actuator.

Fig. 42 is a side view showing a modification the conductive construction.

Fig. 43 is a diagram showing another modification of the conductive construction for supplying the drive voltage to the piezoelectric actuator.

Fig. 44 is a diagram showing a further modification of the conductive construction for supplying the drive voltage to the piezoelectric actuator.

Fig. 45 is a side view showing a still further modification of the conductive construction.

Fig. 46 is a plan view showing the overall construction of a piezoelectric actuator according to a second embodiment of the present invention.

Fig. 47 is a side view showing a vibrating plate that is a component of the piezoelectric actuator according to the second embodiment.

Fig. 48 is a plan view showing the vibrating plate of the piezoelectric actuator according to the second embodiment.

Fig. 49 is a diagram showing a construction for supplying electric power to a piezoelectric element of the

vibrating plate of the piezoelectric actuator according to the second embodiment.

Fig. 50 includes a diagram showing a state in which the vibrating plate of the piezoelectric actuator according to the second embodiment causes a longitudinal vibration, and a diagram showing a state in which the vibrating plate causes a bending vibration.

Fig. 51 is a diagram for explaining a driving direction of a rotor when the vibrating plate of the piezoelectric actuator according to the second embodiment causes a longitudinal vibration.

Fig. 52 is a diagram for explaining a driving direction of the rotor when the vibrating plate of the piezoelectric actuator according to the second embodiment causes a bending vibration.

Fig. 53 is a plan view showing the overall construction of a piezoelectric actuator according to a third embodiment of the present invention.

Fig. 54 is a plan view showing a modification of the piezoelectric actuator according to the third embodiment.

Fig. 55 is a plan view showing the overall construction of a piezoelectric actuator according to a fourth embodiment of the present invention.

Fig. 56 is a side view showing the vicinity of a contacting part between the vibrating plate and the rotor of

the piezoelectric actuator according to the fourth embodiment.

Fig. 57 is a side view showing the vicinity of the contacting part between the vibrating plate and the rotor in a modification of the piezoelectric actuator according to the fourth embodiment.

Fig. 58 is a diagram for explaining a driving direction of a rotor when a vibrating plate in another modification of the piezoelectric actuator according to the fourth embodiment causes a bending vibration.

Fig. 59 is a diagram showing an example of the construction of a driving circuit for switching the vibrating plate in the other modification of the piezoelectric actuator according to the fourth embodiment between a longitudinal vibration mode and a bending vibration mode.

Fig. 60 is a diagram showing a modification of the piezoelectric actuator according to the first to fourth embodiments.

Fig. 61 is a plan view schematically showing an ultrasonic motor using a conventional piezoelectric actuator.

Best Mode for Carrying Out the Invention

A description will now be given of embodiments of the

present invention with reference to the drawings.

A. First Embodiment

A-1. Overall Construction

Fig. 1 is a plan view showing the principal construction of a calendar display mechanism having a piezoelectric actuator incorporated therein in a wristwatch according to a first embodiment of the present invention.

A piezoelectric actuator A1 is generally composed of a vibrating plate 10 that extensionally vibrates in an in-plane direction (a direction parallel to the plane of the figure) and a rotor (rotating member) 100. The rotor 100 is rotationally supported on a main plate (support body) 103, and is disposed at a position where it abuts against the vibrating plate 10. When its outer peripheral surface is tapped by vibrations generated in the vibrating plate 10, the rotor 100 is rotationally driven in a direction shown by the arrow in the figure.

Next, a calendar display mechanism is coupled to the piezoelectric actuator A1, and is driven by a driving force thereof. The principal part of the calendar display mechanism is generally composed of a speed-reducing wheel train for decelerating the rotation of the rotor 100, and a ring-shaped date indicator 50. The deceleration wheel train includes an intermediate date wheel 40 and a date indicator driving wheel 60.

Here, when the vibrating plate 10 vibrates in the in-plane direction as described above, the rotor 100 abutting against the vibrating plate 10 is rotated in a clockwise direction. The rotation of the rotor 100 is transmitted to the date indicator driving wheel 60 via the intermediate date wheel 40, and the date indicator driving wheel 60 rotates the date indicator 50 in a clockwise direction. In this way, the transmittance of all forces from the vibrating plate 10 to the rotor 100, from the rotor 100 to the speed-reducing wheel train, and from the speed-reducing wheel train to the date indicator 50 is effected in the in-plane direction. For this reason, the thickness of the calendar display mechanism can be reduced.

Fig. 2 is a sectional view of a timepiece according to the first embodiment of the present invention. In the figure, a calendar mechanism including the above-described piezoelectric actuator A1 is incorporated into the hatched region, and the thickness thereof is considerably thin at about 0.5 mm. A disk-like dial 70 is provided above the calendar display mechanism. A window 71 for displaying the date is provided in a part of the outer periphery of the dial 70 so that the date of the date indicator 50 can be seen through the window 71. In addition, a movement 73 for driving hands 72, and a driving circuit (not shown), which will be described later, are provided below the dial 70.

In the construction as described above, the piezoelectric actuator A1 has a construction in which a coil and a rotor are not stacked in the thickness direction as in a conventional stepping motor, but the vibrating plate 10 and the rotor 100 are disposed in the same plane. For this reason, it is structurally suited to a reduction in thickness. For this reason, the thickness of the calendar display mechanism can be reduced, and the thickness of the entire timepiece can be reduced. Furthermore, the movement 73 can be shared between a timepiece with the calendar display mechanism and a timepiece without such a display mechanism, whereby productivity can be improved.

A-2. Construction of Piezoelectric Actuator

Next, a description will be given of the piezoelectric actuator A1 according to this embodiment. As shown in Fig. 3, the piezoelectric actuator A1 includes a long plate-like vibrating plate 10 that is elongated in the lateral direction in the figure, and a support member 11 for supporting the vibrating plate 10 on the main plate 103 (see Fig. 1).

At a longitudinal end 35 of the vibrating plate 10, a projection 36 is projected toward the rotor 100, and the projection 36 is in contact with the outer peripheral surface of the rotor 100. With the provision of such a

projection 36, an operation such as grinding may be performed only on the projection 36 in order to maintain the state of the contact surface between the projection 36 and the rotor 100, so that the contact surface between the projection 36 and the rotor 100 can be easily controlled. In addition, the projection 36 formed of a conductive member or a non-conductive member may be used. When the projection 36 is formed of a non-conductive member, piezoelectric elements 30 and 31 can be prevented from shorting even if they come into contact with the rotor 100 that is generally formed of metal.

As shown in the figure, in this embodiment, the projection 36 is formed in the shape of a curved surface projecting toward the rotor 100 in plane view. By forming the projection 36 abutting against the rotor 100 in the shape of a curved surface in this way, even if the positional relationship between the rotor 100 and the vibrating plate 10 varies (due to variations in size and the like), the contact state between the outer peripheral surface of the rotor 100 that is a curved surface and the projection 36 formed in the shape of a curved surface does not change so much. Therefore, a stable contact state between the rotor 100 and the projection 36 can be maintained.

As shown in Fig. 4(a), in this embodiment, the

projection 36 is formed in the shape of a curved surface projecting toward the rotor 100 in sectional view. On the other hand, a concave surface 100a in the shape of a curved surface is formed in the outer peripheral surface of the rotor 100 so that the projection 36 and the concave surface 100a in the shape of a curved surface contact each other. Since the sectional contacting structure is such that a curved surface contacts a curved surface, a good contact state can be maintained even if the contact angle between the projection 36 and the rotor 100 varies. For example, as shown in Fig. 4(b), if the outer peripheral surfaces of the projection 36 and the rotor 100 are formed in the shape of straight lines, the contact state is greatly changed by merely a slight variation of the contact angle. Here, although a guide member for guiding the projection 36 may be provided in order to maintain the contact angle constant, such a construction causes an increase in the number of components that increases the cost. Therefore, by forming the projection 36 and the concave surface 100a in the shape of curved surfaces, as in this embodiment, a good contact state can be maintained without causing a substantial increase in cost. In addition, disengagement of the projection 36 from the concave surface 100a can be restrained. Not only the concave surface 100a in the shape of a curved surface but also a V-groove 100b may be formed

in the outer peripheral surface of the rotor 100, as shown in Fig. 5. In this case, variations of the contact angle between the projection 36 and the rotor 100, and the disengagement of 136 from the V-groove 100b can also be reduced.

Returning to Fig. 3, one end portion (mounting portion) 37 of the support member 11 is mounted on the vibrating plate 10 at a portion slightly toward the rotor 100 from the longitudinal center thereof. The other end (fixed portion) 38 of the support member 11 is supported on the main plate 103 (see Fig. 1) by a screw 39. In such a construction, the support member 11 supports the vibrating plate 10 in a state of urging, by its elastic force, toward the rotor 100, whereby the projection 36 of the vibrating plate 10 is brought into abutment with the side surface of the rotor 100.

As shown in Fig. 6, the vibrating plate 10 has a stacked structure in which a reinforcing plate 32, such as stainless steel, having substantially the same shape as the piezoelectric elements 30 and 31, and having a thickness smaller than that of the piezoelectric elements 30 and 31, is arranged between the two rectangular piezoelectric elements 30 and 31. By arranging the reinforcing plate 32 between the piezoelectric elements 30 and 31 in this way, damage of the vibrating plate 10 due to the excessive vibration of the vibrating plate 10 or an external force can

be reduced. In addition, the reinforcing plate 32 having a thickness smaller than that of the piezoelectric elements 30 and 31 is used so as to allow as much vibration as possible of the piezoelectric elements 30 and 31.

Electrodes 33 are disposed on the surfaces of the piezoelectric elements 30 and 31 that are disposed at the upper and lower sides. A voltage is supplied from a conductive construction, which will be described later, to the piezoelectric elements 30 and 31 via the electrodes 33. Here, as the piezoelectric elements 30 and 31, various types of substances can be used, such as lead zirconate titanate (PZT(trademark), quartz, lithium niobate, barium titanate, lead titanate, lead metaniobate, polyvinylidene fluoride, zinc lead niobate ((Pb(Zn1/3-Nb2/3)O3 1-x-Pb Ti O3 x), wherein x varies with the composition, and x is about 0.09), and scandium lead niovate ((Pb((Sc1/2Nb1/2)1-x Tix))O3), wherein x varies with the composition, and x is about 0.09).

In addition, in this embodiment, each of the electrodes 33 is formed with a thickness of 0.5 μm or more. Electrodes each having a thickness of about 0.1 to 0.3 μm are usually formed on such a piezoelectric element. In the piezoelectric actuator A1, however, electrodes thicker than common electrodes are formed, whereby the electrodes 33 serve the function of a reinforcing material against bending in addition to the function of the electrode so as to

improve the strength of the vibrating plate 10. Here, although the strength is improved when the thickness of each of the electrodes 33 is increased, an excessive increase in the thickness will prevent the vibration of the vibrating plate 10. Therefore, when the improvement of the strength and the influence on the vibration are considered, the thickness of each of the electrodes 33 may preferably be 0.5 μm or more, and the sum of the thicknesses of the electrodes 33 formed on the upper and lower surfaces may preferably be the thickness of the reinforcing plate 32 or less. In the case of the piezoelectric actuator A1 to be incorporated into the calendar display mechanism of the wristwatch as in this embodiment, when the reduction in thickness, the influence on the vibration, and the strength and the like are considered, the thickness of the reinforcing plate 32 may be about 0.1 mm. Therefore, in this case, the sum of the thicknesses of the electrodes 33 may be 0.1 mm or less.

When an alternating voltage is applied from a driving circuit, which will be described later, to the piezoelectric elements 30 and 31 via the electrodes 33, the thus-constructed vibrating plate 10 vibrates as the piezoelectric elements 30 and 31 expand and contract. In this case, the vibrating plate 10 causes a longitudinal vibration such that it expands and contracts in the longitudinal direction, as shown in Fig. 7, whereby the vibrating plate 10 vibrates in

the direction shown by an arrow in Fig. 3 (an unloaded state, that is, a state in which the projection 36 is not in contact with the rotor 100). In addition, as shown in Fig. 8, the vibrating plate 10 has a structure in which the long plate-like piezoelectric elements 30 and 31 are stacked, and the piezoelectric elements 30 and 31 are driven while being connected in parallel so that they are polarized in opposite directions (shown by the arrow in the figure), whereby the amplitude of vibration caused by the vibrating plate 10 can be amplified, and a greater displacement can be obtained. On the other hand, if the piezoelectric elements 30 and 31 are driven while being connected in series so that they are polarized in the same direction, as shown in Fig. 9, the vibrating plate 10 can be vibrated with a low current. Therefore, the connecting structure of the piezoelectric elements 30 and 31 may be determined in accordance with the conditions of using the piezoelectric actuator A1 (when an increase in displacement is regarded as important, or when a reduction in power consumption is regarded as important).

A-3. Operation of Piezoelectric Actuator

Next, a description will be given of the operation of the piezoelectric actuator constructed as described above. Firstly, when a voltage is applied to the vibrating plate 10 from a driving circuit (not shown), the vibrating plate 10

causes a flexural vibration as the piezoelectric elements 30 and 31 expand and contract, and vibrates in the direction of the arrow with the projection 36 abutting against the rotor 100, as shown in Fig. 3. The rotor 100 is rotated in the direction of the arrow in accordance with the displacement of the projection 36 caused by the vibration. The rotor 100 is rotated in this way, whereby the date indicator 102 is rotated via the intermediate date wheel 101 (see Fig. 1), and the date and the day to be displayed are changed.

Here, in the piezoelectric actuator A1, the projection 36 abutted against the rotor 100 is provided at a position shifted from the center line shown by a one-dot chain line in Fig. 3 in the widthwise direction (vertical direction in Fig. 3) of the vibrating plate 10. Therefore, a bending vibration shown in Fig. 10 is generated in the vibrating plate 10 by a reaction force from the side surface of the rotor 100. If the above-described bending vibration is induced in addition to the longitudinal vibrations of the piezoelectric elements 30 and 31 caused by the application of a voltage, the projection 36 moves along an elliptical orbit, as shown in Fig. 11. That is, if the bending vibration is excited in addition to the longitudinal vibration, a greater displacement can be obtained. If the displacement of the projection 36 can be amplified in this way, driving efficiency of the rotor 100 that is driven in

accordance with the displacement can be improved. The position where the projection 36 is provided is not limited to the position shown in the figure, and the projection 36 may be provided at a position where a bending vibration can be induced in the substantially rectangular vibrating plate 10 by the reaction force of the above-described rotor 100.

Furthermore, if the vibrating plate 10 is used which has a shape such that the resonance frequency of the longitudinal vibration substantially coincides with the resonance frequency of the bending vibration, the projection 36 can be moved along a larger elliptical orbit. If the projection 36 is moved along the large elliptical orbit in this way, the time the projection 36 comes into contact with the rotor 100 is elongated, whereby the displacement of the projection 36 during contact is amplified. Therefore, if a bending vibration that resonates with the longitudinal vibration due to the expansion and contract of the piezoelectric elements 30 and 31 is induced, the driving force can be transmitted with higher efficiency.

As described above, while the vibrating plate that has a shape such that the longitudinal vibration and the bending vibration generated in the vibrating plate 10 resonate may be used, a vibrating plate that has a shape such that the resonance frequency of the bending vibration of the vibrating plate 10 is increased to be slightly higher than

the resonance frequency of the longitudinal vibration may be used. If the resonance frequency of the bending vibration is increased to be slightly higher than the resonance frequency of the longitudinal vibration in this way, a bending vibration is generated in the vibrating plate 10, as shown in Fig. 10, whereby the projection 36 can be greatly displaced, and the vibration generated in the vibrating plate 10 can be stabilized. This is because the bending vibration cannot follow the longitudinal vibration when the resonance frequency of the bending vibration generated in accordance with the longitudinal vibration is lower than the resonance frequency of the longitudinal vibration generated by the voltage applied to the piezoelectric elements 30 and 31, and all vibrations generated in the vibrating plate 10 become unstable. In addition, in a vibrating plate in which the resonance frequency of the bending vibration greatly differs from the resonance frequency of the longitudinal vibration, amplitudes of the longitudinal vibration and bending vibration generated in the vibrating plate decrease, whereby driving efficiency is lowered. Therefore, if the resonance frequency of the bending vibration of the vibrating plate is slightly higher than the resonance frequency of the longitudinal vibration, a decrease in the amplitude of the vibration generated in the vibrating plate 10, that is, the displacement of the projection 36, can be

restricted, and a stable vibration can be generated. For example, when a vibrating plate having the varying impedance characteristics shown in Fig. 12 was used, it was experimentally recognized that the projection 36 greatly displaced along the above-described elliptical orbit, and a stable vibration was generated in the vibrating plate. In the vibrating plate having the characteristics shown in Fig. 12, the resonance frequency at the minimum value of the impedance of the longitudinal vibration is 284.3 kHz, and the resonance frequency at the minimum value of the impedance of the bending vibration is 288.6 kHz. Therefore, if the vibrating plate 10 in which the resonance frequency of the bending vibration of the vibrating plate 10 is increased to be higher than the resonance frequency of the longitudinal frequency by about 2% is used, the above-described advantages can be obtained. In a case where the resonance frequency of the bending vibration is slightly increased in this way, if the vibrating plate 10 is excited with a frequency between the resonance frequency of the longitudinal vibration and the resonance frequency of the bending vibration, that is, if the piezoelectric elements 30 and 31 are driven with an exciting frequency within such a range, both the longitudinal vibration and the bending vibration can be easily induced, and a vibration such that the elliptical orbit shown in Fig. 11 becomes large can be

generated in the vibrating plate 10, whereby the rotor 100 can be rotationally driven with higher efficiency.

While the bending vibration may be induced in the vibrating plate 10 by a reaction force from the rotor 100, as described above, the projection 36 that is an abutment portion of the rotor 100 and the vibrating plate 10 may be elastically deformed in the widthwise direction by a reaction force from the rotor 100 generated by the longitudinal vibration of the vibrating plate 10 so that the projection 36 is moved along the above-described elliptical orbit.

Since the projection 36 is urged toward the rotor 100 by the elastic force of the support member 11 in the piezoelectric actuator A1, sufficient friction can be obtained between the rotor 100 and the projection 36. This reduces slippage of the projection 36 and the rotor 100, whereby a large driving force can be stably transmitted from the projection 36 to the rotor 100.

Since the rotor 100 and the vibrating plate 10 are supported on the main plate 103, which is a single member, the spacing arrangement between them is maintained constant. Therefore, the contact state between the projection 36 and the rotor 100 can be stably maintained, whereby the driving force can be stably transmitted.

In the piezoelectric actuator A1 according to this

embodiment, the end 37 of the support member 11 is attached to the vibrating plate 10 at a position of a node of amplitude of the center lines of vibrating plate 10 shown by broken lines in Fig. 13, that is, at a position of minimum amplitude. More specifically, the end 37 is attached to the vibrating plate 10 slightly toward the rotor 100 from the longitudinal central part. This is because while the position of the center of gravity of the vibrating plate 10, i.e., the longitudinal central position of the rectangular vibrating plate 10 is a node of vibration during the unloaded state, the node of vibration of the vibrating plate 10 is actually located toward the rotor 100 from the central part, as shown in Fig. 13 due to the influence of the reaction force and the like from the rotor 100 as described above. The vibrating plate 10 is supported at the position of the node of vibration in this way, whereby loss of vibration energy is decreased and the driving force can be transmitted with higher efficiency. In addition, if the position of a node of vibration of the support member 11 in accordance with the vibration of the vibrating plate 10 is allowed to substantially coincide with the end 37 of the support member 11, the loss of the vibration energy can be further decreased. When the vibrating plate 10 does not have a rectangular shape shown in Fig. 10, the vibrating plate 10 may be supported at a portion toward the rotor 100

from the center of gravity of the vibrating plate 10. This is because the node of the vibration of the vibrating plate 10 is moved toward the rotor 100 from the center of gravity of the vibrating plate 10 by the influence of the reaction force and the like from the rotor 100. The support member 11 may support the vibrating plate 10 at the position of the node.

Furthermore, in the piezoelectric actuator A1 according to this embodiment, the vibrating plate 10 having a structure in which the piezoelectric elements 30 and 31 and the reinforcing plate 32 are stacked can rotationally drive the rotor 100 without using the amplifying member. Therefore, the construction is simplified, and the size of the device can be easily reduced. In addition, mechanical components of the piezoelectric actuator A1 are the vibrating plate 10, the support member 11, and the like, and components are not stacked in the thickness direction (direction perpendicular to the plane of Fig. 1). Therefore, the thickness of the device can be easily reduced.

In addition, in the piezoelectric actuator A1, the rotor 100 is driven only in one direction shown by the arrow in the figure, and another vibrating plate for driving the rotor 100 in the opposite direction, and a mechanism for changing the direction of abutment of the vibrating plate against the rotor 100 are not provided, that is, there are

few factors for preventing the vibration of the vibrating plate 10. Therefore, the driving force can be transmitted more efficiently.

In the piezoelectric actuator A1 according to this embodiment, since the rotor 100 is driven only in one direction, it is necessary to restrict the rotation of the rotor 100 in the opposite direction. However, when a large external force is applied or a load is increased, the rotor 100 sometimes tends to rotate in the opposite direction against the driving force generated by the vibrating plate 10. For example, when an opposite torque exceeding the frictional force between the projection 36 and the rotor 100 is generated, both of the projection 36 and the rotor 100 slip against each other to allow the rotor 100 to be rotated in the opposite direction. In the piezoelectric actuator A1 according to this embodiment, however, since the support member 11 is not a rigid body but is elastic, as shown in Fig. 14, when a force which tends to rotate the rotor 100 in the opposite direction increases and the rotor 100 is pushed back in the opposite direction, the rotation of the rotor 100 in the opposite direction and the rotation of the vibrating plate 10 with the projection 36 contacting the rotor 100 are allowed. As shown in Fig. 15, in this embodiment, the center of rotation allowed for the vibrating plate 10 is set to be located within a quadrant formed by

the line B extending from the contact point A of the rotor 100 and the projection 36 in a direction opposite to the driving direction of the rotor 100 at the point A and the line C intersecting the line B at right angles on the point A. That is, the rotation of the vibrating plate 10 around the end 38 of the support member 11 located within the above-described quadrant is allowed. By providing the center of rotation at such a position, when the vibrating plate 10 is rotated clockwise in the figure in accordance with the opposite rotation of the rotor 100, the projection 36 is displaced toward the rotor 100 as if to cut into the rotor 100. Therefore, the force of the projection 36 pressing against the rotor 100 is increased, whereby the friction between the projection 36 and the rotor 100 is increased. This makes it possible to transmit a large torque (for the normal rotation) from the vibrating plate 10, whereby the rotation of the rotor 100 in the opposite direction due to an increase in load and the external force can be inhibited. That is, when the load is increased, the driving torque can be increased corresponding to the increase in the load. When the force in the opposite direction is eliminated or decreased, the vibrating plate 10 is returned to the lower position shown by the one-dot chain line in Fig. 14 by the elastic force of the support member 11.

In addition to the increase in friction between the projection 36 and the rotor 100, when the rotor 100 tends to rotate in the opposite direction, the vibrating plate 10 may be rotated so that the projection 36 moves away in a direction opposite to the driving direction shown by the arrow in accordance with the movement of the rotor 100, as shown in Fig. 16. In order to rotate the vibrating plate 10 in this way, the center of rotation of the vibrating plate 10 may be set to be located within a quadrant formed by the line D extending from the contact point A of the rotor 100 and the projection 36 in the driving direction of the rotor 100 at the point A and the line C intersecting the line D at right angles on the point A. This makes it possible to rotate the vibrating plate 10 so that the projection 36 moves away as described above, whereby damage of the rotor 100 and the projection 36 due to the external force and the like can be reduced.

A-4. Construction of Calendar Display Mechanism

Next, a description will be given of the construction of the calendar display mechanism with reference to Fig. 1 and Fig. 17, which is a sectional view of Fig. 1. In the figures, the main plate 103 is a first bottom plate for arranging parts thereon, and a main plate 103' is a second bottom plate partially having a stepped portion with respect

to the main plate 103. A gear 100c that is coaxial with the rotor 100 and is rotated with the rotor 100 is provided above the rotor 100. The intermediate date wheel 40 is composed of a large diameter section 4b and a small diameter section 4a that is fixed so as to be concentric with the large diameter section 4b and is formed slightly smaller than the large diameter section 4b. In accordance with the rotation of the gear 100c with the rotor 100, the large diameter section 4b that meshes with the gear 100c is rotated, whereby the intermediate wheel 40 is rotated. A peripheral surface of the small diameter section 4a is cut out in substantially a square shape to form a cutout 4c. A shaft 41 of the intermediate date wheel 40 is formed on the main plate 103', and a bearing (not shown) coupled to the shaft 41 is formed inside the intermediate date wheel 40. Therefore, the intermediate date wheel 40 rotationally provided on the main plate 103'. The rotor 100 also has a bearing (not shown) formed inside thereof, and is rotationally supported on the main plate 103.

Next, the date indicator 50 is formed in the shape of a ring, and an internal gear 5a is formed on the inner peripheral surface thereof. The date indicator driving wheel 60 has a gear of five teeth, and meshes with the internal gear 5a. A shaft 61 is provided in the center of the date indicator driving wheel 60 to rotationally support

the date indicator driving wheel 60. The shaft 61 is loosely inserted into a through hole 62 formed in the main plate 103'. The through whole 62 is elongated along the circumferential direction of the date indicator 50.

One end of a plate spring 63 is fixed to the main plate 103', and the other end is fixed to the shaft 61. This allows the plate spring 63 to urge the shaft 61 and the date indicator driving wheel 60. Swinging of the date indicator 50 is prevented by the urging action of the plate spring 63.

One end of a plate spring 64 is secured to the main plate 103' by a screw, and the other end is bent in substantially a V shape to form an end part 64a. A contact 65 is arranged so as to come into contact with the plate spring 64 when the intermediate date wheel 40 is rotated and the end part 64a enters into the cutout 4c. A predetermined voltage is applied to the plate spring 64, and the voltage is also applied to the contact 65 upon contacting the contact 65. Therefore, by detecting the voltage of the contact 65, a date feed state can be detected. A manual driving wheel meshing with the internal gear 5a may be provided so that the date indicator 50 is driven when a user performs a predetermined operation on a crown (not shown).

A-5. Operation of Calendar Display Mechanism

A description will be given of an automatic calendar-

updating operation with reference to Fig. 1. When it is twelve o'clock midnight each day, this is detected, and a driving signal V is supplied to the piezoelectric elements 30 and 31 from a driving circuit 500, which will be described later. Then, the vibrating plate 10 vibrates as described above. This makes the rotor 100 rotate in a clockwise direction, and, following this, the intermediate date wheel 40 starts rotation in a counterclockwise direction.

Here, the driving circuit 500 is constructed so as to stop the supply of the driving signal V when the plate spring 64 comes into contact with the contact 65. In a state where the plate spring 64 is in contact with the contact 65, the end portion 64a enters into the cutout 4c. Therefore, the intermediate date wheel 40 starts to rotate.

Since the date indicator driving wheel 60 is urged in a clockwise direction by the plate spring 63, the small diameter section 4a is rotated while sliding on teeth 6a and 6b of the date indicator driving wheel 60. When the cutout 4c reaches the position of the tooth 6a of the date indicator driving wheel 60 during the rotation, the tooth 6a meshes with the cutout 4c. In this case, the circumscribed circle of the date indicator driving wheel 60 has moved to the position shown by C1.

When the intermediate date wheel 40 is continuously

rotated in a counterclockwise direction, the date indicator driving wheel 60 is rotated in a clockwise direction by one tooth, that is, by "1/5" of a revolution operatively associated with the intermediate date wheel 40. Furthermore, the date indicator 50 is rotated in a clockwise direction by one tooth (equivalent to the date range for one day) operatively associated with the rotation of the date indicator driving wheel 60. In the final day of a month having a number of days less than "31", the above operation is repeated a plurality of times, and the correct date based on a calendar is displayed by the date indicator 50.

When the intermediate date wheel 40 is continuously rotated in a counterclockwise direction, and the cutout 4c reaches the end part 64a of the plate spring 64, the end 64a enters into the cutout 4c. Then, the plate spring 64 comes into contact with the contact 65, the supply of the driving signal V is stopped, and the rotation of the intermediate date wheel 40 is stopped. Therefore, the intermediate date wheel 40 is rotated once a day.

Incidentally, the load of the piezoelectric actuator A1 increases during 1) a first period (start of rotation) until the end 64a of the plate spring 64 gets out of the state where it is in the cutout 4c, and 2) a second period in which the cutout 4c meshes with the date indicator driving wheel 60 to rotate the date indicator 50. When the load of

the piezoelectric actuator A1 increases, slippage between the rotor 100 and the projection 36 is increased, and in the worst case, it becomes impossible to drive the rotor. In the mechanism system of this embodiment, however, the first period and the second period do not overlap each other. That is, the maximum torque time required for detecting the date feed state and the maximum torque time required for driving the date indicator 50 are staggered. Therefore, the peak current of the piezoelectric actuator A1 can be suppressed, and consequently, the timepiece can be positively operated by maintaining the power source voltage above a certain voltage value.

A-6. Driving Circuit

Fig. 18 is a block diagram of the driving circuit 500 for applying a voltage to the piezoelectric elements 30 and 31, and Fig. 19 is a timing chart of the driving circuit 500. A twelve o'clock midnight detection unit 501 is a mechanical switch incorporated in the movement 73 (see Fig. 2), and outputs a first control pulse CTLa shown in Fig. 19(a) when it is twelve o'clock midnight. A date feed detection unit 102 has the above-described plate spring 64 and the contact 65 as principal sections, and outputs a second control pulse CTLb shown in Fig. 19(b) when the plate spring 64 comes into contact with the contact 65.

A control circuit 503 generates an oscillation control signal CTLc (see Fig. 19(c)) based on the first control pulse CTLa and the second control pulse CTLb. The control circuit 503 may be composed of, for example, an SR flip flop so that the first control pulse CTLa is supplied to set terminals, and the second control pulse CTLb is supplied to reset terminals. In this case, as shown in Fig. 19(c), when the first control pulse CTLa rises from a low level to a high level, the oscillation control signal CTLc changes from a low level to a high level, and this state is maintained until the second control pulse CTLb rises, when it changes from the high level to the low level.

The oscillation circuit 504 is constructed so that an oscillation frequency is substantially equal to fs(n) wherein n represents the order of the vibration mode of the vibrating plate 10. The oscillation circuit 504 may be formed by, for example, a Colpitts oscillation circuit.

Power supplied to the oscillation circuit 504 is controlled by the oscillation control signal CTLc. The power supply is effected when the oscillation control signal CTLc is at the higher level, and is stopped when the oscillation control signal CTLc is at the lower level. Therefore, a waveform of the driving signal V, which is an output of the oscillation circuit 504, oscillates when the oscillation control signal CTLc is at a higher level, as

shown in Fig. 19(d).

While the intermediate date wheel 40 is rotated once a day as described above, the period thereof is limited, starting from twelve o'clock midnight. Therefore, the oscillation circuit 504 may sufficiently oscillate only during the period. In the driving circuit 50 of this embodiment, the power supply to the oscillation circuit 504 is controlled by the oscillation control signal CTLc to thereby completely stop the operation of the oscillation circuit 504 during a period in which there is no need for rotating the intermediate date wheel 40. Therefore, power consumption of the oscillation circuit 504 can be reduced.

A-7. Modifications of Piezoelectric Actuator

In place of the piezoelectric actuator A1 having the construction as described above, it is possible to use the following variously modified piezoelectric actuators, and it is also possible to use a piezoelectric actuator formed as a combination of the modifications.

A-7-1. First Modification

While the projection 36 is provided on the vibrating plate 10 at a contacting part between the projection 36 and the rotor 100 in the piezoelectric actuator A1 shown in the above-described embodiment, a cutout 90 may be formed by

cutting out a peak of a rectangular vibrating plate 10 on the side of the rotor 100 so that the cutout 90 is brought into abutment with the side surface of the rotor 100, as shown in Fig. 20. In this case, a surface state of the cutout 90 can be easily controlled in a manner similar to the above-described projection 36. By forming the cutout 90 in the shape of a curved surface, a good contact state can be maintained in a manner similar to the above-described piezoelectric actuator A1.

A-7-2. Second Modification

While the electrodes 33 are provided on the entire surfaces of the piezoelectric elements 30 and 31 in the above-described embodiment, electrodes 33 may be disposed only near the longitudinal central parts of the piezoelectric elements 30 and 31 and may not be disposed on both ends, as shown in Fig. 21. That is, the piezoelectric elements 30 and 31 may be constructed so as to have electrode sections having electrodes on the surfaces thereof, and non-electrode sections located on both ends of the electrode sections. This construction makes it possible to reduce the drive voltage while maintaining the driving force to the rotor 100. This is because, when the vibrating plate 10 is vibrated with its natural vibration frequency, the both ends of the vibrating plate 10 are sufficiently greatly

displaced by the vibration, and the displacement is not amplified even if a voltage is applied to the displaced portions so as to expand and contract the piezoelectric elements 30 and 31 provided on the both ends.

As shown in Fig. 22, the electrodes 33 may be disposed only on the widthwise (vertical direction in the figure) central part of the piezoelectric elements 30 and 31, and may not be disposed on the widthwise both ends (upper and lower sides in the figure).

A-7-3. Third Modification

While the rectangular vibrating plate 10 is used in the above-described embodiment, a tapered vibrating plate 95 having a small thickness on the side of the rotor 100 may be used. When preparing the vibrating plate 95 having such a shape, tapered piezoelectric elements and reinforcing plate may be stacked in a manner similar to the above-described vibrating plate 10. The use of such a vibrating plate 95 amplifies the displacement of an end 96 of the vibrating plate 95 on the side of the rotor 100, whereby the rotor 100 can be driven at high speed. In addition, since the lengths in the widthwise direction that is the vertical direction of the figure are not uniform, the widthwise resonance of the vibrating plate 95 can be restricted, that is, the vibration in the widthwise direction, can be reduced.

In addition, a vibrating plate 97 having a shape shown in Fig. 24 may be used. As shown in the figure, the vibrating plate 97 is, unlike the totally tapered vibrating plate 95, partially (in the figure, the side of the rotor 100) tapered. The use of the vibrating plate having such a shape makes it possible to drive the rotor 100 at high speed in a manner similar to the vibrating plate 95 shown in Fig. 23, compared with the rectangular vibrating plate 10.

In addition, when a vibrating plate having a shape such that the thickness decreases toward the rotor 100 is used, the rotor 100 can be driven at high speed. For example, a vibrating plate 28 having a shape shown in Fig. 28 may be used.

While the vibrating plates shown in Figs. 23 to 25 are suitable for driving the rotor 100 at high speed, a vibrating plate 99 having the shape shown in Fig. 26 may be used when the rotor is driven at low speed and high torque. As shown in the figure, the vibrating plate 99 has a shape such that the width increases toward the rotor 100. In the vibrating plate 99, while displacement of an end 96 that is a contacting part between the end 96 and the rotor 100 is reduced, compared with the rectangular vibrating plate 10, torque which tends to rotate the rotor 100 is increased, whereby a low-speed drive with high torque can be effected.

When a vibrating plate having a shape other than the

rectangular shape shown in Figs. 23 to 26 is used, the electrodes provided on the upper and lower surfaces thereof may have a rectangular shape. For example, as shown in Fig. 27, when a rectangular electrode is formed on the vibrating plate 95, a high-speed drive with low drive voltage can be effected.

A-7-4. Fourth Modification

As shown in Fig. 28, a horn part (extended part) 110 extending toward the rotor 100 from the vibrating plate 10 may be provided. When providing such a horn part 110, the reinforcing plate 32 may be prepared in the shape of including the horn section 110, as shown in the figure, and the piezoelectric elements 30 and 31 may be stacked on the upper and lower sides of the reinforcing plate 32, respectively. When the vibrating plate 10 is vibrated in this construction, the vibrating plate 10 and the horn part 110 vibrate with amplitude shown by broken lines in Fig. 28. Therefore, the displacement of the tip of the horn part 110 abutting against the rotor 100 is amplified, whereby the driving force can be efficiently provided. The horn part 110 may have a shape shown in Fig. 30.

A-7-5. Fifth Modification

As shown in Fig. 31, the vibrating plate 10, the

support member 11 and the rotor 100 may be disposed so that the end 38 of the support member 11 is located on a tangent to the projection 36 of the vibrating plate 10 and the rotor 100, i.e., on the line S perpendicular to the direction of a pressing force F from the projection 36 to the rotor 100 in the initial vibration state. When the vibrating plate 10, the support plate 11, and the rotor 100 are disposed so as to achieve such a positional relationship, the contact position and the angle between the rotor 100 and the projection 36 are not changed even if fine adjustment of the positions of the support member 11 and the vibrating plate 10 is effected around the end 38 secured by the screw 39 in order to adjust the pressing force and the like of the projection 36 to the rotor 100, whereby the driving force can always be stably provided. In addition, variations in the contact angle between the vibrating plate and the rotor due to the shape, the position, the change with the passage of time, and the like can be prevented.

A-7-6. Sixth Modification

As shown in Fig. 32, the longitudinal both ends of the vibrating plate 10 may be supported by two support members 11. This can restrict the vibration of the vibrating plate 10 in the widthwise direction (vertical direction in the figure), that is, the vibration that prevents the vibration

in the horizontal direction in the figure required for driving the rotor 100 can be restricted. In this case, if the end 37 of the support member 11 substantially coincides with the position of an antinode of vibration of the support member 11 in accordance with the vibration of the vibrating plate 10, as shown in Fig. 33, for example, if the length of the support member 11 is set to be a quarter of the vibration wavelength of the support member 11, the prevention of the vibration in the horizontal direction in the figure that is a longitudinal direction of the vibration plate 10 is reduced, whereby efficiency is further improved.

In addition, when supporting the vibrating plate 10 by the two support members 11 in this way, the position of the node of the vibration of the vibrating plate 10 may be supported by one (the right side in the figure) of the two support members 11, and an end of the vibrating plate 10 on the side of the rotor 100 may be supported by the other one (the left side in the figure) of the support members 11. Since one of the support members 11 supports the node of the vibration, this can reduce the loss of vibration energy, and the other one of the support members 11 can restrict the vibration in the widthwise direction near the contacting part between the support member 11 and the rotor 100.

A-7-7. Seventh Modification

While the support member 11 urges the vibration plate 10 toward the rotor 100 in the above-described embodiment, the vibrating plate 10 may be urged toward the rotor 100 by providing a spring member (elastic member) 180, as shown in Fig. 35. As shown in the figure, the support member 11 is mounted on the upper side of the vibrating plate 10, and one end of the spring member 180 is mounted on the lower side of the vibrating plate 10. The other end of the spring member 180 is supported by a pin 181 provided on the main plate 103 (see Fig. 1). This allows the vibrating plate 10 to be urged toward the rotor 100, upper side in the figure, whereby the projection 36 is brought into abutment with the side surface of the rotor 100. The spring member 180 is provided so as to urge the vibrating plate 10 toward the rotor 100 in this way, the driving force can be stably transmitted in a manner similar to the piezoelectric actuator A1 in the above-described embodiment.

When the support member 11 for supporting the vibrating plate 10 and the spring member 180 for urging the vibrating plate 10 toward the rotor 100 are provided in this way, the vibrating plate 10 may also be provided so as to be rotated around the position (for example, the position of the end 38 as shown in the figure) within a quadrant formed by the line B and the line C, as shown in Fig. 36, in a manner similar to the above-described embodiment. Even if the rotor 100

tends to be rotated in the opposite direction due to the external force, this construction allows the vibrating plate 10 to return the former position after it is rotated in accordance with the rotation of the rotor 100 in the opposite direction, and the rotor 100 returns to a normal direction in accordance with the return of the vibrating plate 10, as shown in Fig. 37, whereby the rotation of the rotor 100 in the opposite direction can be restricted.

Incidentally, when the support member 11 and the spring member 180 are provided in this way, the vibrating plate 10 may also be formed in a tapered shape, as shown in Fig. 38, and the horn part (see Fig. 28) may be provided.

As shown in Fig. 39, an elastic support member 600 that is a combination of a support member for supporting the vibrating plate 10 and a spring member for urging the vibrating plate 10 toward the rotor 100 may be provided. As shown in the figure, the elastic support member 600 is an L-shaped member, and has a support portion 600a for supporting the vibrating plate 10 and a spring portion 600b extending from the support portion 600a while being bent thereat. The elastic support member 600 is supported by a screw 39 at a portion that is an intermediate part between the support portion 600a and the spring portion 600b, and an end of the spring portion 600b is supported by the pin 181, whereby the vibrating plate 10 is urged toward the rotor 100. This

brings the projection 36 into abutment with the outer peripheral surface of the rotor 100. In addition, slight rotation of the elastic support member 600 around the screw 39 is allowed, whereby the rotation of the rotor 100 in the opposite direction can be restricted in a manner similar to the piezoelectric actuator A1.

A-7-8. Eighth Modification

While the vibrating plate has a structure in which the piezoelectric elements 30 and 31 are stacked on the upper and lower sides of the reinforcing plate 32 in the above-described embodiment, the vibrating plate may have a simple structure in which one piezoelectric element is stacked on a reinforcing plate. In addition, three or more piezoelectric elements may be stacked.

A-8. Conductive Construction to Piezoelectric Actuator

Next, a description will be given of a conductive construction for supplying a drive voltage from the driving circuit 500 to the piezoelectric elements in the piezoelectric actuators of the above-described various modifications. Power can be usually supplied to the piezoelectric elements by wiring the electrodes 33 provided on the vibrating plate 10 from the driving circuit 500. For the purpose of simplifying the conductive construction,

however, power may be supplied to the piezoelectric elements by various conductive constructions shown in Figs. 40 to 45.

While the vibrating plate 10 has a structure in which the piezoelectric elements 30 and 31 are stacked on the upper and lower sides of the reinforcing plate 32 in the above-described piezoelectric actuator A1, a piezoelectric actuator shown in Fig. 40 has a structure in which reinforcing plates 32 are stacked on the upper and lower sides of one piezoelectric element 251. The reinforcing plate 32 of the upper layer is supported by a support member 11a, the reinforcing plate 32 of the lower layer is supported by a support member 11b, and the reinforcing plates 32, the support members 11a and 11b are formed of conductive materials. In this construction, the drive voltage from the driving circuit 500 is supplied to the piezoelectric element 251 via the support members 11a and 11b and the reinforcing plates 32. This allows the support members 11a and 11b to serve the conducting function of supplying the drive voltage to the piezoelectric element 251, in addition to the function of supporting the vibrating plate 10 while urging toward the rotor 100. Therefore, the need to separately provide a conductive construction, such as wiring, for supplying the drive voltage to the piezoelectric element 251 is eliminated, whereby the construction is simplified. In addition, when another

conductive component is provided, the conductive component may prevent the vibration of the vibrating plate 10. This conductive construction, however, does not encounter such a problem, and the driving force can be efficiently transmitted.

In addition, as shown in Figs. 41 and 42, when a vibrating plate 10 in which piezoelectric elements 30 and 31 are stacked on the upper and lower sides of a reinforcing plate 32 is used, the drive voltage may be supplied from the driving circuit 500 to the piezoelectric elements 30 and 31 via support members 11c and 11d formed of a conductive material.

As shown in Figs. 41 and 42, the support member 11c is formed in the shape to branch into two on the side of the vibrating plate 10, and has an upper end 260 branched to the upper side (near side of the plane of Fig. 41) and a lower end 261 branched to the lower side (far side of the plane of the figure). The upper end 260 is attached by solder or a conductive bonding agent to an electrode 33 formed on the surface of the piezoelectric element 30, and the lower end 261 is attached by solder or a conductive to an electrode 33 formed on the surface of the piezoelectric element 31. On the other hand, the support member 11d is attached to the reinforcing plate 32, whereby the drive voltage is supplied from the driving circuit 500 to the piezoelectric elements

30 and 31. In this case, the support members 11c and 11d also serve the function of supporting the vibrating plate 10 and serve the conducting function to the piezoelectric elements 30 and 31, as described above, whereby the construction is simplified, and the driving force can be efficiently transmitted.

While the drive voltage may be supplied from the driving circuit to the piezoelectric elements via the support members formed of the conductive material as described above, the drive voltage may be supplied to the piezoelectric elements by a conductive construction shown in Fig. 43. As shown in the figure, in the conductive construction, the upper and lower surfaces (electrodes 33) of the vibrating plate 10 are clamped by a C-shaped elastic conductive member 280, and wiring is connected from the reinforcing plate 32 to the driving circuit 500. If such an elastic conductive member 280 is used, the drive voltage can be supplied from the driving circuit 500 to the piezoelectric elements 30 and 31 that are stacked on the upper and lower sides even with a simple construction.

As shown in Figs. 44 and 45, a wire 290 may be wound around the vibrating plate 10 so that the drive voltage is supplied to the piezoelectric elements 30 and 31 via the wound wire 290. This can also supply the drive voltage to the piezoelectric elements 30 and 31 with a simple

conductive construction. When the voltage is supplied via the elastic conductive member 280 or the wire 290 as described above, the stacked structure of the vibrating plate 10 may be either a structure in which electrodes are arranged on upper and lower surfaces or a structure in which the reinforcing plates formed of conductors are formed on the upper and lower surfaces. In addition to the vibrating plate having the stacked structure of the piezoelectric elements and the reinforcing plates, the above-described elastic conductive member 280 or the wire 290 can be used when the voltage is supplied to the piezoelectric elements.

B. Second Embodiment

Next, a description will be given of a piezoelectric actuator according to the second embodiment of the present invention. In the second embodiment, components common to those of the first embodiment are indicated by the same reference numerals, and a description thereof will be omitted.

As shown in Fig. 46, the piezoelectric actuator according to the second embodiment includes a vibrating plate 310 in place of the vibrating plate 10 of the piezoelectric actuator A1 according to the first embodiment.

As shown in Fig. 47, the vibrating plate 310 has a structure in which piezoelectric elements 30 and 31 are

stacked on upper and lower sides of a reinforcing plate 32 in a manner similar to the vibrating plate 10 in the first embodiment. However, as shown in Fig. 48, the vibrating plate 310 differs from the vibrating plate 10 in that electrodes 33a, 33b, 33c, and 33d are arranged on the piezoelectric elements 30 and 31. In addition, in the vibrating plate 310, the piezoelectric element 30 (also the piezoelectric element 31 although it is not shown) is divided into four regions, and the electrodes 33a, 33b, 33c, and 33d are arranged on the divided regions, respectively.

A description will be given of a conductive construction for supplying the drive voltage to the electrodes 33a, 33b, 33c, and 33d arranged on the four regions of the piezoelectric element 30 with reference to Fig. 49. As shown in the figure, by switching ON/OFF of a switch (selection unit) 341, a mode for supplying the drive voltage from a power source 340 to all of the electrodes 33a, 33b, 33c, and 33d, and a mode for supplying the drive voltage from the power source 340 to the electrodes 33a and 33d can be switched.

When the switch 341 is turned on, and the mode for supplying the drive voltage to all of the electrodes 33a, 33b, 33c, and 33d is selected, the vibrating plate 310 expands and contacts in the longitudinal direction to cause a longitudinal vibration in a manner similar to the above-

described first embodiment (hereinafter, referred to as a longitudinal vibration mode), as shown in Fig. 50(a). On the other hand, when the switch 341 is turned off, and the mode for supplying the drive voltage only to the electrodes 33a and 33d is selected, the piezoelectric elements 33a and 33d only in the regions to which the drive voltage is applied expand and contract, and the vibrating plate 310 causes a bending vibration in the widthwise direction (vertical direction in the figure) within a plane to which the vibrating plate 310 belongs (hereinafter, referred to as a bending vibration mode), as shown in Fig. 50(b). By switching the switch 341 in this way, the vibration mode of the vibration plate 310 can be selected.

In the piezoelectric actuator according to the second embodiment, the rotor 100 is driven using the vibrating plate 310 that can switch the two vibration modes as described above, and the driving direction of the rotor 100 can be switched by operating the switch 341 to switch the vibration modes. When the longitudinal vibration mode is selected, a leftward driving force in the figure is provided by the longitudinal vibration of the vibrating plate 310 from the abutting part between the rotor 100 and the projection 36, as shown in Fig. 51, whereby the rotor 100 is rotated in a clockwise direction in the figure.

On the other hand, when the bending vibration mode is

selected, an upward driving force in the figure is provided by the bending vibration of the vibrating plate 310 from the abutting part between the rotor 100 and the projection 36, as shown in Fig. 52, whereby the rotor 100 is rotated in a counterclockwise direction in the figure.

In the piezoelectric actuator according to the second embodiment, the rotor 100 can be driven in a normal direction and an opposite direction by switching the switch 341. Since the driving direction is switched by switching the vibration modes of the vibrating plate 310 as described above, there is no need to provide a vibrating plate for each driving direction, and to provide an adjustment mechanism for adjusting the positional relationship between the vibrating plate and the rotor that is an object to be driven. Therefore, the driving direction can be switched between the normal direction and the opposite direction without complicating the construction and increasing the size of the device.

In the piezoelectric actuator according to the second embodiment, various modifications can be made in a manner similar to the above-described first embodiment. For example, a cutout may be provided in the vibrating plate 310 in place of the projection 36 (see Fig. 20). In addition, the end 38 of the support member 11 may be located on a tangent to the projection 36 of the vibrating plate 310 and

the rotor 100 so that the contact state between the projection 36 and the rotor 100 is stabilized (see Fig. 31). Furthermore, a spring member may be provided in addition to the support member 11 so that the vibrating plate 310 is urged toward the rotor 100 by the spring member (see Fig. 35).

C. Third Embodiment

Next, a description will be given of a piezoelectric actuator according to the third embodiment of the present invention. In the third embodiment, components common to those of the first and second embodiments are indicated by the same reference numerals, and a description thereof will be omitted.

While the vibrating plate is urged toward the rotor 100 by an urging force of the spring member or the support member in the above-described first and second embodiments, the rotor 100 is urged toward the vibrating plate in the third embodiment. A description will be given of this construction with reference to Fig. 53. As shown in the figure, in this embodiment, a rotating shaft 100j of the rotor 100 is supported on one end of an elastic rotating member 550, and the rotating shaft 100j is rotatable around a rotating shaft 550a of the elastic rotating member 550. The elastic rotating member 550 is composed of a rotating

portion 550b of which one end supports the rotating shaft 100j and the other end is rotationally supported around the rotating shaft 550a, and a spring portion 550c extending from the side of the rotating shaft 550a of the rotating portion 550b while being bent thereat. The side surface of the spring portion 550c is supported by a raised pin 551, whereby the rotating portion 550b is urged to rotate in a clockwise direction in the figure. That is, the rotating shaft 100j of the rotor 100 is urged rightward in the figure.

On the other hand, the vibrating plate 10 is, unlike the first embodiment, supported by support members 552 formed of a rigid body at widthwise both ends thereof. The support members 552 support the vibrating plate 10 at the position of a node of vibration when the vibrating plate 10 vibrates, and the position of the vibrating plate 10 and mounting portions 553 of the support members 552 are fixed. By fixing the vibrating plate at the position of the node of vibration, the vibration of the vibrating plate 10 can be stabilized. Even if the vibrating plate 10 is fixedly supported, since the rotor 100 is urged toward the vibrating plate 10, sufficient friction is produced between the outer peripheral surface of the rotor 100 and the projection 36, whereby the driving force can be transmitted therebetween with higher efficiency.

When the piezoelectric actuator has a gear mechanism

and the like for increasing or decreasing a speed, such as a first gear 555 that is coaxial with the rotor 100, i.e., rotated together with the rotor 100 using the rotating shaft 100j as a rotating shaft, and a second gear 556 meshed with the first gear 555, it is preferable that components be arranged so that the rotating shaft 550a of the elastic rotating member 550, the rotating shaft 100j, and a rotating shaft 556a of the second gear 556 are arranged substantially on the straight line L, as shown in the figure, and that the vibrating plate 10 be arranged so that the projection 36 is located in the direction perpendicular to the line L from the rotating shaft 100j of the rotor 100. This is because, by arranging the components in this way, even if the elastic rotating member 550 is rotated due to variations during mounting, variations in size, and the wear of the contact part, the contact angle between the rotor 100 and the projection 36 does not change very much, whereby a good contact state can be maintained. In addition, when the first gear 555 is rotated, the positional relationship between the first gear 555 and the second gear 556 does not change very much, whereby the driving force can be stably transmitted.

In the above-described construction, when a load applied to the second gear 556 is increased, that is, when a force which tends to rotate the second gear 556 in a

direction opposite to a driving direction that is a counterclockwise direction in the figure is increased, a force which tends to rotate the first gear 555 and the rotor 100 in a clockwise direction is also increased. That is, a force received by the first gear 555 on the right side in the figure at a meshed portion with the second gear 556 is increased. In accordance with the increase, a force which tends to rotate the elastic rotating member 550 for supporting the rotating shaft 100j in a clockwise direction in the figure is increased, whereby the force of the outer peripheral surface of the rotor 100 pressing against the projection 36 is increased. When the force of the outer peripheral surface of the rotor 100 pressing against the projection 36 is increased in this way, the friction between the rotor 100 and the projection 36 is increased, and a torque that can be transmitted from the vibrating plate 10 to the rotor 100 is increased. In this way, in this piezoelectric actuator, the torque can be increased as the load increases. Conversely, when the load is decreased, the friction between the outer peripheral surface of the rotor 100 and the projection 36 is decreased, but the decrease in the friction makes it possible to drive the rotor 100 with a low power. Therefore, in the piezoelectric actuator according to the third embodiment, the maximum torque can be improved although it can be operated with a low power

consumption during the low-loaded state.

While the rotating shaft 100j of the rotor 100 is movable, and the elastic rotating member 550 urges the rotor 100 toward the vibrating plate 100 in the third embodiment, the rotor 100 may be formed of an elastic body so that the outer peripheral surface of the rotor 100 is pressed toward the vibrating plate 10 by an elastic force of the rotor 100, as shown in Fig. 54. In this case, if the position of the rotating shaft 100j of the rotor 100 is fixed to a position such that the rotor 100 that does not receive the external force, that is, the rotor 100 that is not elastically deformed, is arranged where the outer peripheral surface shown by the two-dot chain line in the figure crosses the projection 36 each other, the outer peripheral surface of the rotor 100 and the projection 36 are pressed into contact with each other by the elastic force of the rotor 100 which tends to return to the former shape, whereby sufficient friction is produced between the outer peripheral surface of the rotor 100 and the projection 36, and the driving force can be efficiently transmitted. As such an elastic rotor 100, a metallic member can be uses as long as it has hollow sections, as shown in the figure.

In addition to the above-described vibrating plate 10, vibrating plates in various forms may be used in the third embodiment in a manner similar to the first embodiment, and

a vibrating plate that is able to select between the longitudinal vibration mode and the bending vibration mode like the vibrating plate 310 shown in the second embodiment may be used.

D. Fourth Embodiment

Next, a description will be given of a piezoelectric actuator according to the fourth embodiment of the present invention. In the third embodiment, components common to those of the first to third embodiments are indicated by the same reference numerals, and a description thereof will be omitted.

As shown in Fig. 55, the piezoelectric actuator according to the fourth embodiment has a structure in which one end of the vibrating plate 10 is overlapped on the surface of a disk-like rotor 100. As shown in Fig. 56, the vibrating plate 10 is inclined with respect to the plane of the rotor 100, and a projection 700 projected from the vibrating plate 10 toward the plane of the rotor 100 abuts against the plane of the rotor 100 from an oblique direction.

In this construction, when a voltage is applied to a piezoelectric element of the vibrating plate 10 from a driving circuit (not shown), the vibrating plate 10 causes a longitudinal vibration in the direction shown by the arrow in the figure. When the vibrating plate 10 vibrates in such

a manner as to extend toward the center of the rotor 100 during the longitudinal vibration, the one end 700 is displaced while it is in contact with the plane of the rotor 100, whereby the rotor 100 is rotationally driven in a clockwise direction shown by the arrow in Fig. 55.

The vibrating plate 10 may be provided not only on the front surface of the rotor 100 but also on the back surface of the rotor 100. In addition, as shown in Fig. 57, a projection 710 projected downward from the projection 700 may be provided instead of inclining the vibrating plate 10 with respect to the rotor 100, and the projection 710 may be brought into abutment with the plane of the rotor 100.

In addition to the above-described vibrating plate 10, vibrating plates in various forms may be used in the fourth embodiment in a manner similar to the first embodiment.

Furthermore, a vibrating plate that is able to select the longitudinal vibration mode and the bending vibration mode may be used so as to switch the driving direction of an object to be driven. In this case, a vibrating plate 580, which vibrates in a manner similar to the above vibrating plate to drive the rotor 100 in the longitudinal vibration mode, and causes a bending vibration in an out-of-plane direction shown in Fig. 58 in the bending vibration mode may be provided, and in the bending vibration mode, the rotor 100 may be driven rightward in the figure that is a

direction opposite to the direction in the longitudinal vibration mode.

When switching the longitudinal vibration mode and the bending vibration mode in this way, a driving circuit shown in Fig. 59 may be constructed. When a switch 581 is switched between the longitudinal vibration mode and the bending vibration mode as shown in the figure, two stacked piezoelectric elements 30 and 31 vibrate in the same phase in the longitudinal vibration mode, whereby the vibrating plate can be allowed to cause a longitudinal vibration in an in-plane direction, and the piezoelectric elements 30 and 31 vibrate in the opposite phase in the bending vibration mode, whereby the vibrating plate can be allowed to cause a bending vibration in an out-of-plane direction. The arrows in the figure indicate a direction of polarization.

E. Modifications

While the piezoelectric actuator rotationally drives the disk-like rotor in the above-described various embodiments, an object to be driven is not limited thereto. For example, the above-described vibrating plate 10 may be brought into abutment with a driving member 660 that is substantially shaped like a rectangular parallelepiped so as to drive the member 660 shaped like a rectangular parallelepiped in the longitudinal direction thereof.

The piezoelectric actuator according to the above-described various embodiments can be used by being incorporated in a portable device other than a timepiece that is driven by a battery, in addition to being incorporated in the above-described calendar display mechanism of a timepiece.

While a plate-like member is used as the reinforcing plate 32 in the above-described various embodiments, a metallic film formed by sputtering and the like may be used as a reinforcing portion stacked on the piezoelectric element, and any method may be adopted to form the metallic film.

CLAIMS

1. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; and

a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against an object to be driven;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

2. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 1, wherein the vibrating plate is movably supported by the support member within a plane to which the vibrating plate belongs.

3. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and

an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that the longitudinal end of the vibrating plate abuts against an object to be driven;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

4. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 3, wherein the vibrating plate is rotationally supported by the support member and the elastic member within a plane to which the vibrating plate belongs.

5. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 2 or Claim 4, wherein, the vibrating plate is supported in such a manner that a force for pressing the object to be driven is increased when a force which tends to move the vibrating

plate in the direction opposite to the direction in which the object to be driven is driven is applied to the vibrating plate.

6. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 2 or Claim 4, wherein the vibrating plate is supported in such a manner that, when a force which tends to move the vibrating plate in the direction opposite to the direction in which the object to be driven is driven is applied to the vibrating plate, the vibrating plate is moved in the opposite direction.

7. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 6, wherein the end of the vibrating plate abutting against the object to be driven has a projection, and the projection abuts against the object to be driven.

8. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 6, wherein one peak of the vibrating plate is cut out in a rectangular shape, and the cut out portion of the vibrating plate abuts against the object to be driven.

9. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 8, wherein the vibrating plate includes a portion having a shape such that the thickness thereof

decreases from the other end toward the end abutting against the object to be driven.

10. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 8, wherein the vibrating plate includes a portion having a shape such that the thickness thereof increases from the other end toward the end abutting against the object to be driven.

11. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 8, wherein the reinforcing portion includes an extended part having a thickness smaller than that of the central part of the vibrating plate from the piezoelectric element toward the object to be driven, and extending toward the object to be driven to abut against the object to be driven.

12. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 11, wherein the fixing portion of the support member is located in line with a driving direction of the object to be driven.

13. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 12, wherein a longitudinal vibration in which the vibrating plate expands and contacts in the longitudinal

direction is generated by the vibration of the piezoelectric element, and a bending vibration in which the vibrating plate vibrates in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction is generated by a reaction force received by the vibrating plate from the object to be driven due to the longitudinal vibration.

14. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 13, wherein the resonance frequencies of the longitudinal vibration and the bending vibration generated in the vibrating plate substantially coincide with each other.

15. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 13, wherein the resonance frequency of the bending vibration generated in the vibrating plate is higher than the resonance frequency of the longitudinal vibration generated in the vibrating plate.

16. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 15, wherein the exciting frequency for driving the piezoelectric element is a frequency between the resonance frequency of the longitudinal vibration generated in the vibrating plate and the resonance frequency of the bending vibration generated in the vibrating plate.

17. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 12, wherein a longitudinal vibration in which the vibrating plate expands and contacts in the longitudinal direction is generated by the vibration of the piezoelectric element, and the end of the vibrating plate abutting against the object to be driven is elastically deformed in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction by a reaction force received by the vibrating plate from the object to be driven due to the longitudinal vibration.

18. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis; and

a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

19. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 18, wherein the vibrating plate is movably supported by the support member within a plane to which the vibrating plate belongs.

20. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis;

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and

an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that the longitudinal end of the

vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

21. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 20, wherein the vibrating plate is rotationally supported by the support member and the elastic member within a plane to which the vibrating plate belongs.

22. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; and

a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the outer peripheral surface of the rotor;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

23. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 22, wherein the vibrating plate is movably supported by the support member within a plane to which the vibrating plate belongs.

24. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame;

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and

an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that the longitudinal end of the vibrating plate abuts against the outer peripheral surface of the rotor;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

25. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 24, wherein the vibrating plate is rotationally supported by the support member and the elastic member within a plane to which the vibrating plate belongs.

26. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having an outer peripheral surface, rotationally supported on the base frame, a rotating shaft thereof being movable;

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and

an elastic member for providing an elastic force to the rotor so that the outer peripheral surface of the rotor abuts against the longitudinal end of the vibrating plate;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

27. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 26, further comprising:

a rotating member for rotationally supporting the rotating shaft of the rotor;

a first gear sharing the rotating shaft with the rotor, and integrally rotated with the rotor; and

a second gear meshing with the first gear;

wherein the center of rotation of the rotating member and the rotating shafts of the rotor and the second gear are arranged substantially on one straight line; and

the abutment position between the rotor and the vibrating plate is located in a direction perpendicular to the straight line from the rotating shaft of the rotor.

28. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 26 or Claim 27, wherein a force of the elastic member for pressing the rotor toward the end of the vibrating plate is increased with an increase in a rotation load of the rotor.

29. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; and

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame;

wherein the rotor is formed of an elastic body arranged on a position where the outer peripheral surface thereof abuts against the longitudinal end of the vibrating plate, and presses the outer peripheral surface against the end of the vibrating plate by the elastic force thereof; and

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

30. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 22 to 29, wherein a concave groove is formed in the outer peripheral surface of the rotor.

31. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 23 or

Claim 25, wherein the vibrating plate is supported in such a manner that a force for pressing the object to be driven is increased when a force which tends to move the vibrating plate in the direction opposite to the direction in which the rotor is driven is applied to the vibrating plate.

32. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 23 or Claim 25, wherein the vibrating plate is supported in such a manner that, when a force which tends to move the vibrating plate in the direction opposite to the direction in which the rotor is driven is applied to the vibrating plate, the vibrating plate is moved in the opposite direction.

33. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 32, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor has a projection, and the projection abuts against the rotor.

34. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 32, wherein one peak of the vibrating plate is cut out in a rectangular shape, and the cut out portion of the vibrating plate abuts against the rotor.

35. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 34, wherein the end of the vibrating plate

abutting against the rotor is formed in the shape of a curved surface.

36. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 35, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor is formed in the shape of a curved surface as viewed from the direction of the rotating shaft of the rotor.

37. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 35 or Claim 36, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor is formed in the shape of a curved surface as viewed from the widthwise direction of the vibrating plate.

38. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 37, wherein the base frame has a single member for supporting both the rotor and the vibrating plate.

39. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 38, wherein the vibrating plate includes a portion having a shape such that the thickness thereof decreases from the other end toward the end abutting against the rotor.

40. A piezoelectric actuator as claimed in any one of

Claims 18 to 38, wherein the vibrating plate includes a portion having a shape such that the thickness thereof increases from the other end toward the end abutting against the rotor.

41. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 38, wherein the reinforcing portion includes an extended part having a thickness smaller than that of the central part of the vibrating plate from the piezoelectric element toward the rotor, and extending toward the rotor to abut against the rotor.

42. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 41, wherein the fixing portion of the support member is located in line with a driving direction of the rotor.

43. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 42, wherein a longitudinal vibration in which the vibrating plate expands and contacts in the longitudinal direction is generated by the vibration of the piezoelectric element, and a bending vibration in which the vibrating plate vibrates in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction is generated by a reaction force received by the vibrating plate from the rotor due to the

longitudinal vibration.

44. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 43, wherein the resonance frequency of the bending vibration generated in the vibrating plate is higher than the resonance frequency of the longitudinal vibration generated in the vibrating plate.

45. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 43, wherein the resonance frequency of the bending vibration generated in the vibrating plate is higher than the resonance frequency of the longitudinal vibration generated in the vibrating plate.

46. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 45, wherein the exciting frequency for driving the piezoelectric element is a frequency between the resonance frequency of the longitudinal vibration generated in the vibrating plate and the resonance frequency of the bending vibration generated in the vibrating plate.

47. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 42, wherein a longitudinal vibration in which the vibrating plate expands and contacts in the longitudinal direction is generated by the vibration of the piezoelectric

element, and the end of the vibrating plate abutting against the rotor is elastically deformed in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction by a reaction force received by the vibrating plate from the rotor due to the longitudinal vibration.

48. A piezoelectric actuator according to any one of Claims 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, and 42, wherein the mounting portion of the support member is mounted to a plurality of sections in the longitudinal direction of the vibrating plate.

49. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 48, wherein one of the mounting portions of the support member is mounted at a position of a node of vibration of the vibrating plate.

50. A piezoelectric actuator as claimed in Claims 48 or Claim 49, wherein the position of the mounting portion of the support member substantially coincides with the position of an antinode of vibration of the support member in accordance with the vibration of the vibrating plate.

51. A piezoelectric actuator as claimed in any one of

Claims 1 to 47, wherein the mounting portion of the support member is mounted at a position of a node of vibration of the vibrating plate.

52. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 51, wherein the position of the mounting portion of the support member substantially coincides with the position of a node of vibration of the support member in accordance with the vibration of the vibrating plate.

53. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; and

a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against an

object to be driven;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the object to be driven is driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

54. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane;

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and mounting portion mounted on the vibrating

plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and

an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against an object to be driven;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the object to be driven is driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

55. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the out-of-plane direction; and

a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

56. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the out-of-plane direction;

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and

an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the

selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

57. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; and

a support member, which is an elastic member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the outer peripheral surface of the rotor;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by

the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

58. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane;

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating

plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and

an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the outer peripheral surface of the rotor;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

59. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having an outer peripheral surface, rotationally supported on the base frame, a rotating shaft thereof being movable;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane;

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and

an elastic member for providing an elastic force to the rotor so that the outer peripheral surface of the rotor abuts against a longitudinal end of the vibrating plate;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

60. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 59, further comprising:

a rotating member for rotationally supporting the rotating shaft of the rotor;

a first gear sharing the rotating shaft with the rotor, and integrally rotated with the rotor; and

a second gear meshing with the first gear;

wherein the center of rotation of the rotating member and the rotating shafts of the rotor and the second gear are arranged substantially on one straight line; and

the abutment position between the rotor and the vibrating plate is located in a direction perpendicular to the straight line from the rotating shaft of the rotor.

61. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 59 or Claim 60, wherein a force of the elastic member for pressing the rotor toward the end of the vibrating plate is increased with an increase in a rotation load of the rotor.

62. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; and

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame;

wherein the rotor is formed of an elastic body arranged on the position where the outer peripheral surface thereof abuts against a longitudinal end of the vibrating plate, and presses the outer peripheral surface against the end of the vibrating plate by the elastic force thereof;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

63. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 57 to 62, wherein a concave groove is formed in the outer peripheral surface of the rotor.

64. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 55 to 63, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor has a projection, and the projection abuts against the rotor.

65. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 55 to 64, wherein one peak of the vibrating plate is cut out in a rectangular shape, and the cut out portion of the vibrating plate abuts against the rotor.

66. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 55 to 65, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor is formed in the shape of a curved surface.

67. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 66, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor is formed in the shape of a curved surface as viewed from the direction of the rotating shaft of the rotor.

68. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 66 or Claim 67, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor is formed in the shape of a curved surface as viewed from the widthwise direction of the vibrating plate.

69. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 55 to 68, wherein the base frame has a single member for supporting both the rotor and the vibrating plate.

70. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 53 or Claim 54, wherein the end of the vibrating plate abutting against the object to be driven has a projection, and the projection abuts against the object to be driven.

71. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 53 or Claim 54, wherein one peak of the vibrating plate is cut out in a rectangular shape, and the cut out portion of the vibrating plate abuts against the object to be driven.

72. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 71, wherein the reinforcing portion is formed thinner than the piezoelectric element.

73. A piezoelectric actuator as claimed in any one of

Claims 1 to 71, wherein the piezoelectric element has an electrode section arranged on the surface thereof, and

wherein a thickness of the electrode section is 0.5 μm or more, and is smaller than the thickness of the reinforcing portion.

74. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 72, wherein the piezoelectric element has a first electrode section disposed on the longitudinal central part of the vibrating plate, and first non-electrode sections having no electrode provided thereon disposed on longitudinal both ends of the vibrating plate.

75. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 72, wherein the piezoelectric element has a second electrode section disposed on the widthwise central part of the vibrating plate, and second non-electrode sections having no electrode provided thereon disposed on widthwise both ends of the vibrating plate.

76. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 75, wherein the vibrating plate has a plurality of the stacked piezoelectric elements, and

wherein adjacent piezoelectric elements are polarized in the opposite directions.

77. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 75, wherein the vibrating plate has a plurality of the stacked piezoelectric elements, and

wherein adjacent piezoelectric elements are polarized in the same direction.

78. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 77, wherein the reinforcing portion is a conductor, and is stacked on the upper and the lower sides of the piezoelectric element, respectively, and

wherein power is supplied to the piezoelectric element via the reinforcing portions stacked on the upper and the lower sides of the piezoelectric element.

79. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 78, wherein the support member is a conductor, and

wherein power is supplied to the piezoelectric element via the support member.

80. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 79, further comprising an elastic conductive material contacting the upper and lower surfaces of the vibrating plate to clamp the vibrating plate;

wherein and power is supplied to the piezoelectric element via the elastic conductive material.

81. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 79, further comprising a wire wound around the vibrating plate while being in contact therewith;

wherein power is supplied to the piezoelectric element via the wire.

82. A piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element;

the piezoelectric actuator comprising reinforcing portions stacked on the upper and lower sides of the piezoelectric element;

wherein power is supplied to the piezoelectric element via the reinforcing portions.

83. A piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element;

the piezoelectric actuator comprising:

a base frame; and

a support member formed of a conductive material, and supporting the piezoelectric element on the base frame;

wherein power is supplied to the piezoelectric element via the support member.

84. A piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element;

the piezoelectric actuator comprising an elastic conductive material contacting the upper and lower surfaces of the vibrating plate to clamp the vibrating plate;

wherein power is supplied to the piezoelectric element via the elastic conductive material.

85. A piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element;

the piezoelectric actuator comprising a wire wound around the vibrating plate while being in contact therewith;

wherein power is supplied to the piezoelectric element via the wire.

86. A timepiece comprising:

a piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 85; and

a ring-shaped calendar display wheel rotationally driven by the piezoelectric actuator.

87. A portable device comprising:

a piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 85; and

a battery for supplying power to the piezoelectric actuator.

ABSTRACT

A rectangular vibrating plate 10 in which a piezoelectric element and a reinforcing plate are stacked is supported on a main plate by a support member 11, and is urged toward the rotor 100 by an elastic force of the support member 11. This brings a projection 36 provided on the vibrating plate 10 into abutment with an outer peripheral surface of the rotor 100. In this construction, when the vibrating plate 10 vibrates in the horizontal direction in the figure by an applied voltage from a driving circuit (not shown), the rotor 100 is rotated in a clockwise direction in accordance with the displacement of the projection 36 due to the vibration.